



TUGAS AKHIR -TE 091399

Desain dan Implementasi *Multiple Input Buck - Boost Converter* pada Sel Surya dan Termoelektrik

Ivan Kristofer
NRP 2210100189

Dosen Pembimbing
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Ir. Teguh Yuwono

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TE 091399

**Design and Implementation of Multiple Input Buck -
Boost Converter for Photovoltaic and Thermoelectric**

Ivan Kristofer
NRP 2210100189

Supervisor
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Ir. Teguh Yuwono

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Technology Institute
Surabaya 2015

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI *MULTIPLE INPUT*
BUCK – BOOST CONVERTER PADA SEL SURYA
DAN TERMOELEKTRIK**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

23/01/15

Dosen Pembimbing II

Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

NIP. 197311192000031001

Ir. Teguh Yuwono

NIP. 195008061976121002



**SURABAYA
Januari, 2015**

Desain dan Implementasi *Multiple Input Buck - Boost Converter* pada Sel Surya dan Termoelektrik

Ivan Kristofer
2210100189

Dosen Pembimbing 1 : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Teguh Yuwono

ABSTRAK

Berdasarkan perkembangan teknologi yang sedang terjadi di dunia, energi yang digunakan untuk membangkitkan listrik perlahan mulai meninggalkan jenis sumber energi tak terbarukan menuju ke jenis sumber energi terbarukan. Energi terbarukan yang banyak digunakan untuk saat ini adalah energi matahari, dan alat yang digunakan untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik adalah *photovoltaic* atau biasa disebut sel surya. Pada saat bekerja, bagian belakang panel surya dapat mencapai suhu yang cukup tinggi. Panas tersebut dapat dimanfaatkan kembali untuk menjadi listrik dengan menggunakan termoelektrik. Supaya kedua energi tersebut dapat digunakan, maka dibutuhkan sebuah konverter multi – input sehingga kedua sumber energi tersebut dapat dimanfaatkan secara maksimal.

Kata kunci : Multi – input konverter, konverter buck, Termoelektrik, Sel Surya

Halaman ini sengaja dikosongkan

Design and Implementation of Multiple Input Buck - Boost Converter for Photovoltaic and Thermoelectric

Ivan Kristofer
2210100189

1st Advisor : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
2nd Advisor : Ir. Teguh Yuwono

ABSTRACT

Based on the technological developments that taking place in the world, the energy used to generate electricity slowly began to leave the non-renewable energy sources toward renewable energy sources. Renewable energy that widely used for today is solar energy, and tools used to convert solar energy into electrical energy is commonly called photovoltaic or solar cells. When its working, the back of the solar panel can reach a high temperature. The heat can be transformed into electricity using thermoelectric. Multiple Input Converter is needed in order for both the energy to be utilized.

Keyword: Multiple Input Converter, Buck Converter, Thermoelectric, Photovoltaic

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat serta hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan buku Tugas Akhir ini dengan judul “**Desain dan Implementasi *Multiple Input Buck – Boost Converter* pada Sel Surya dan Termoelektrik**”. Buku ini ditulis sebagai syarat kelulusan penulis dalam menempuh jenjang pendidikan S1.

Tiada gading yang tak retak, begitu pun dengan laporan tugas akhir ini yang masih jauh dari sempurna. Baik dalam penyusunan, maupun dalam pembahasan masalah, karena keterbatasan pengetahuan penulis. Untuk itu, dalam kesempatan ini pula penulis mohon maaf atas segala ketidaksempurnaan yang ada. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar dapat lebih baik di masa yang akan datang.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah dan Ibu tercinta beserta semua keluarga yang telah senantiasa memberikan kasih sayang, doa dan dukungan.
2. Bapak Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D. dan bapak Ir. Teguh Yuwono sebagai pembimbing yang telah membimbing dan memberikan ilmu sehingga penulis dapat menyelesaikan buku Tugas Akhir ini dengan baik.
3. Bapak Ir. Teguh Yuwono sebagai koordinator bidang studi teknik sistem tenaga.
4. Segenap dosen pengajar dan karyawan jurusan Teknik Elektro ITS.
5. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Konversi Energi Listrik B101 dan E-50, terutama untuk saudara M. Anshori yang telah sangat banyak membantu saya. Terima kasih atas kerjasama dan semangatnya.
6. Dan semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Semoga buku ini dapat memberikan manfaat dan menjadi kebaikan bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, Januari 2015

Ivan Kristofer

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi

BAB 1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Tujuan	1
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	2
1.7 Relevansi	3

BAB 2 *Multiple – Input Converter*, Sel Surya, dan Termoelektrik

2.1 Sel Surya	5
2.1.1 Struktur dan bagian – bagian Sel Surya	6
2.1.2 Prinsip kerja Sel Surya	7
2.2 Termoelektrik	9
2.2.1 Prinsip Kerja Termoelektrik	9
2.3 MOSFET	9
2.4 <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	10
2.5 <i>Buck Converter</i>	11
2.5.1 Prinsip Kerja <i>Buck Converter</i>	12
2.5.2 Penurunan Rumus <i>Buck Converter</i>	13
2.6 <i>Multiple Input Converter</i>	15
2.6.1 Topologi Sistem	15
2.6.2 Strategi Pensaklaran <i>Multiple Input Converter</i>	16
2.6.3 Prinsip Kerjadan Penurunan Rumus <i>Multiple Input Converter</i>	18

BAB 3 Desain dan Simulasi *Multiple Input Converter*

3.1 Penentuan Nilai – Nilai Parameter pada Simulasi dan Implementasi Alat.....	25
3.1.1 Penentuan Nilai Tegangan Output.....	25
3.1.2 Penentuan Nilai Induktor L.....	26
3.1.3 Penentuan Nilai Kapasitor C.....	26
3.2 Hasil Simulasi dengan Software PSIM.....	28

BAB 4 Implementasi dan Analisis Data Sel Surya, Termoelektrik dan *Multiple Input Converter*

4.1 Implementasi Sel Surya, Termoelektrik dan <i>Multiple Input Converter</i>	33
4.1.1 Spesifikasi Induktor	33
4.1.2 Dioda.....	34
4.1.3 Kapasitor	35
4.1.4 Saklar Semikonduktor (MOSFET).....	35
4.1.5 Pembangkit Sinyal <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM).....	35
4.1.6 <i>Driver</i>	36
4.1.7 Termoelektrik (TEC – 12706).....	38
4.1.8 Sel Surya (eISOL Solar Power)	39
4.2 Pengujian dan Analisis Data Sel Surya dan Termoelektrik	39
4.2.1 Pengujian Sel Surya dan Termoelektrik saat cuaca cerah..	40
4.2.2 Pengujian Sel Surya dan Termoelektrik saat cuaca berawan.....	43
4.3 Pengujian dan Analisis Data <i>Multiple Input Converter</i>	46
4.3.1 Pengujian <i>Multiple Input Converter</i> saat cuaca cerah	47
4.3.2 Pengujian <i>Multiple Input Converter</i> saat cuaca berawan...	50

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran	53

DAFTAR PUSTAKA

RIWAYAT HIDUP PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter simulasi.....	25
Tabel 4.1 Spesifikasi TEC – 12706	38
Tabel 4.2 Spesifikasi Elektris Sel Surya	39
Tabel 4.3 Spesifikasi Fisik Sel Surya.....	39
Tabel 4.4 Tegangan, arus dan daya Sel Surya saat cuaca cerah	41
Tabel 4.5 Tegangan, arus dan daya yang Termoelektrik saat cuaca cerah.....	42
Tabel 4.6 Suhu dari kedua sisi Termoelektrik saat cuaca cerah	42
Tabel 4.7 Tegangan, arus dan daya Sel Surya saat cuaca berawan	44
Tabel 4.8 Tegangan, arus dan daya Termoelektrik saat cuaca berawan	45
Tabel 4.9 Suhu dari kedua sisi Termoelektrik saat cuaca berawan	45
Tabel 4.10 V_O , I_O , P dan efisiensi saat jam 11.00 – 12.00	48
Tabel 4.11 V_O , I_O , P dan efisiensi saat jam 12.00 – 13.00	49
Tabel 4.12 V_O , I_O , P dan efisiensi saat jam 11.00 – 12.00	50
Tabel 4.13 V_O , I_O , P dan efisiensi saat jam 12.00 – 13.00	51

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sel Surya.....	5
Gambar 2.2	Struktur dan bagian bagian sel surya	6
Gambar 2.3	P – N junction	8
Gambar 2.4	Sistem Kerja sel surya.....	8
Gambar 2.5	Rangkaian ekivalen MOSFET	9
Gambar 2.6	Contoh PWM	10
Gambar 2.7	Variasi lebar pulsa PWM	11
Gambar 2.8	Rangkaian <i>buck converter</i>	12
Gambar 2.9	Rangkaian ekivalen mode pertama dan mode kedua	12
Gambar 2.10	Kurva arus induktor I_L	13
Gambar 2.11	Topologi dalam literatur.....	15
Gambar 2.12	Topologi yang dipakai.....	16
Gambar 2.13	Strategi pensaklaran MOSFET 1	16
Gambar 2.14	Strategi pensaklaran MOSFET 2	17
Gambar 2.15	<i>Duty cycle</i> efektif MOSFET 2	17
Gambar 2.16	<i>Multiple Input Buck Converter</i>	18
Gambar 2.17	MOSFET 1 dan MOSFET 2 konduksi.....	19
Gambar 2.18	Saat MOSFET 1 konduksi dan MOSFET 2 konduksi ..	19
Gambar 2.19	MOSFET 1 nonkonduksi dan MOSFET 2 konduksi	21
Gambar 2.20	Saat MOSFET 1 dan MOSFET 2 nonkonduksi	22
Gambar 3.1	Desain MIBC dalam PSIM	28
Gambar 3.2	V_{GS1} , V_{GS2} , V_{DS1} dan V_{DS2}	29
Gambar 3.3	V_{DS1} , I_{DS1} , V_{DS2} , dan I_{DS2}	30
Gambar 3.4	I_L , I_{DS1} , dan I_{DS2}	31
Gambar 3.5	Tegangan output V_O	32
Gambar 4.1	Induktor belit	34
Gambar 4.2	MUR 1560 dan BYC 10-600.....	34
Gambar 4.3	Kapasitor DC	35
Gambar 4.4	MOSFET IRFP 460	35
Gambar 4.5	Mikrokontroller.....	36
Gambar 4.6	TLP 250	37
Gambar 4.7	Rangkaian ekivalen TLP 250	37
Gambar 4.8	TEC – 12706.....	38
Gambar 4.9	Sel Surya dan Termoelektrik	40
Gambar 4.10	Grafik perbandingan PV saat cuaca cerah.....	41
Gambar 4.11	Grafik perbandingan Termoelektrik saat cuaca cerah	43
Gambar 4.12	Grafik Perbandingan PV saat cuaca berawan.....	44
Gambar 4.13	Grafik perbandingan Termoelektrik saat cuaca berawan	46

Gambar 4.14	Tegangan V_{GS} kedua MOSFET	47
Gambar 4.15	a. V_{DS1} ; b. V_{DS2} ; c. I_{DS1} ; d. I_{DS2}	48
Gambar 4.16	a. V_o ; b. I_L	48
Gambar 4.17	Grafik perbandingan efisiensi pada saat cuaca cerah	50
Gambar 4.18	Grafik perbandingan efisiensi pada saat cuaca berawan	52

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan jaman dan teknologi, energi tidak terbarukan atau biasa disebut energi *fossil* mulai ditinggalkan dalam membangkitkan energi listrik dan mulai beralih kepada energi terbarukan yang dapat diperoleh secara gratis dan terus – menerus. Energi terbarukan yang banyak digunakan pada saat ini adalah energi matahari. Energi matahari ditangkap oleh sebuah alat yang bernama Sel Surya atau biasa disebut sel surya. Sel Surya bekerja dengan cara menangkap spektrum dan intensitas cahaya yang dikeluarkan oleh matahari. Namun energi yang dikeluarkan oleh matahari bukan hanya spektrum dan intensitas cahaya saja, tetapi energi panas juga dikeluarkan oleh matahari yang dapat menyebabkan sisi belakang dari sebuah Sel Surya menjadi sangat panas. Oleh karena itu, panas tersebut dapat dimanfaatkan menjadi sebuah energi listrik dengan menggunakan sebuah modul termoelektrik. Termoelektrik sendiri bekerja berdasarkan prinsip ‘efek *Seebeck*’ dimana ketika perbedaan temperatur terjadi antara dua material semi konduktor yang berbeda maka termoelektrik akan mengalirkan arus sehingga menghasilkan perbedaan tegangan.

Untuk memanfaatkan energi yang terdapat pada Sel Surya dan termoelektrik, maka diperlukan sebuah *Multiple Input Converter*, sehingga energi dari kedua sumber yang berbeda tersebut dapat dimanfaatkan dengan maksimal.

1.2. Perumusan Masalah

Dalam mengerjakan Tugas Akhir ini, *Multiple Input Converter* akan di desain dan di implementasikan dengan menggunakan sumber Sel Surya dan Termoelektrik.

1.3. Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah untuk menguji Sel Surya dan Termoelektrik serta merealisasikan sebuah *Multiple Input Converter* agar sumber energi dari Sel Surya dan Termoelektrik tersebut dapat dimanfaatkan secara maksimal.

1.4. Batasan Masalah

1. Sumber energi menggunakan Sel Surya dan Termoelektrik
2. 5 buah Termoelektrik yang digunakan
3. *Multiple Input Converter* yang bekerja dengan sistem *buck*
4. Pembangkit PWM memiliki frekuensi 46.875 kHz

1.5. Metodologi

Untuk memahami prinsip kerja *Multiple Input Converter*, Sel Surya dan Termoelektrik dapat dilakukan studi literatur terlebih dahulu mengenai prinsip kerja dan cara pengaplikasiannya. Studi literature dapat dilakukan dengan cara mengumpulkan referensi dari literatur yang telah ada baik dari jurnal ilmiah maupun buku referensi yang ada.

Setelah mengetahui dan mendapatkan parameter yang dibutuhkan dari referensi, maka selanjutnya adalah melakukan simulasi *Multiple Input Converter* di dalam sebuah software, seperti PSIM. Setelah hasil dari simulasi telah sesuai dengan yang diinginkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan proses implementasi alat. Dengan hasil simulasi yang telah diperoleh, maka implementasi dari *Multiple Input Converter* dilakukan sesuai dengan parameter – parameter yang telah didapatkan melalui hasil simulasi dan penghitungan manual.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini terbagi dalam lima bab. Masing-masing bab adalah sebagai berikut:

- **BAB 1 Pendahuluan**
Bab ini terdiri atas penjelasan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika dan relevansi.
- **BAB 2 Teori Dasar**
Bab ini menjelaskan tentang teori dasar mengenai Sel Surya, Termoelektrik dan *Multiple Input Converter* beserta topologi, prinsip kerja dan penurunan rumusnya.
- **BAB 3 Desain dan Simulasi *Multiple Input Converter***
Bab ini menjelaskan tentang penghitungan nilai L dan C serta simulasi dari *Multiple Input Converter*

- **BAB 4 Implementasi dan Analisis Data Sel Surya, Termoelektrik, dan *Multiple Input Converter***
Bab ini menjelaskan proses implementasi, dan analisis data dari Sel Surya, Termoelektrik, dan *Multiple Input Converter*
- **BAB 5 Penutup**
Bab ini menjelaskan kesimpulan dan saran yang didapat dari Tugas Akhir yang telah dilakukan.

1.7. Relevansi

Hasil dalam laporan Tugas Akhir ini diharapkan dapat menambah wawasan baik penulis maupun pembaca tentang Sel Surya, Termoelektrik, dan *Multiple Input Converter*. Selain itu, laporan Tugas Akhir diharapkan dapat digunakan sebagai referensi mahasiswa yang ingin mengambil masalah yang serupa sebagai Tugas Akhirnya.

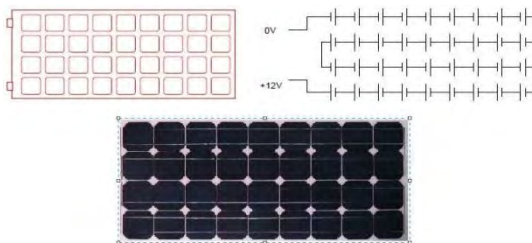
Halaman ini sengaja dikosongkan

Bab 2

Multiple – Input Converter, Sel Surya, dan Termoelektrik

2.1 Sel Surya

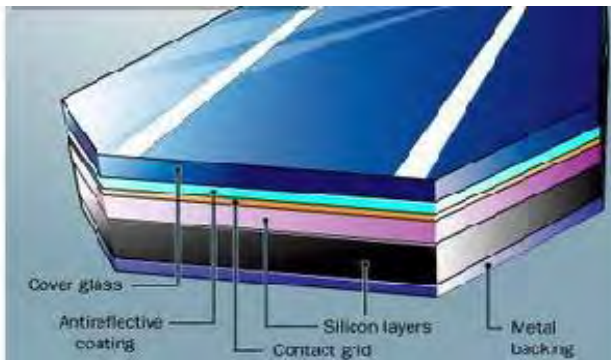
Sel surya adalah alat yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik. Sel surya memiliki potensi yang sangat besar untuk memaksimalkan energi cahaya matahari yang sampai ke bumi, walaupun selain digunakan untuk menghasilkan listrik, energi dari matahari juga bisa dimaksimalkan energi panasnya melalui sistem solar thermal ataupun termoelektrik. Sel surya dapat dianalogikan sebagai alat dengan dua terminal atau sambungan, dimana saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya sel surya berfungsi seperti dioda, dan saat disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan. Ketika disinari, umumnya satu sel surya komersial dapat menghasilkan tegangan dc sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus *short-circuit* dalam skala beberapa milliampere per cm^2 . Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul surya biasanya terdiri dari 28-36 sel surya, dan total dapat menghasilkan tegangan dc sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar (*Air Mass 1.5*). Modul surya tersebut bisa digabungkan secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu. **Gambar 2.1** menunjukkan ilustrasi dari modul surya [3].



Gambar 2.1 Sel surya [3]

2.1.1 Struktur dan bagian – bagian Sel Surya

Sesuai dengan perkembangan teknologi, jenis-jenis teknologi sel surya pun berkembang dengan berbagai inovasi. Ada yang disebut sel surya generasi satu, dua, tiga dan empat, dengan struktur atau bagian-bagian penyusun sel yang berbeda pula. Sel surya yang ada dipasaran saat ini merupakan sel surya berbasis material silikon yang juga secara umum mencakup struktur dan cara kerja sel surya generasi pertama (sel surya silikon) dan kedua (thin film/lapisan tipis) [3].



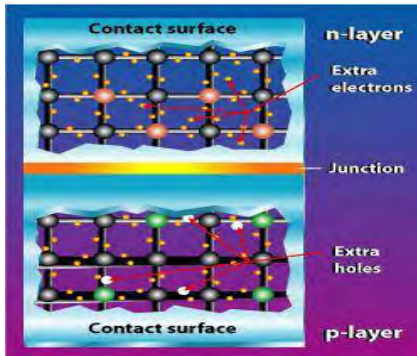
Gambar 2.2 Struktur dan bagian bagian sel surya [3]

Gambar 2.2 menunjukkan ilustrasi sel surya dan juga bagian-bagiannya. Secara umum sel surya terdiri dari beberapa bagian. Pertama adalah Substrat/Metal backing, merupakan material yang menopang seluruh komponen sel surya. Material substrat juga harus mempunyai konduktivitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau molybdenum. Untuk sel surya dye-sensitized (DSSC) dan sel surya organik, substrat juga berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya sehingga material yang digunakan yaitu material yang konduktif tapi juga transparan seperti *Indium Tin Oxide* (ITO) dan *Flourine Doped Tin Oxide* (FTO). Kedua adalah Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus μm untuk sel surya generasi pertama (silikon), dan 1-3 μm untuk sel surya lapisan tipis. Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya

dari sinar matahari. Untuk **Gambar 2.2**, semikonduktor yang digunakan adalah material silikon, yang umum diaplikasikan di industri elektronik. Bagian semikonduktor tersebut terdiri dari junction atau gabungan dari dua material semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang membentuk p-n junction. P-n junction ini menjadi kunci dari prinsip kerja sel surya. Ketiga adalah Kontak metal / contact grid, merupakan substrat sebagai kontak positif, diatas sebagian material semikonduktor biasanya dilapiskan ke material metal atau material konduktif transparan sebagai kontak negatif. Keempat adalah Lapisan antireflektif, berfungsi untuk meminimalisir refleksi cahaya agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya sel surya dilapisi oleh lapisan anti-refleksi. Material anti-refleksi ini adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan kembali. Kelima adalah Enkapsulasi / cover glass, berfungsi sebagai enkapsulasi untuk melindungi modul surya dari hujan atau kotoran.

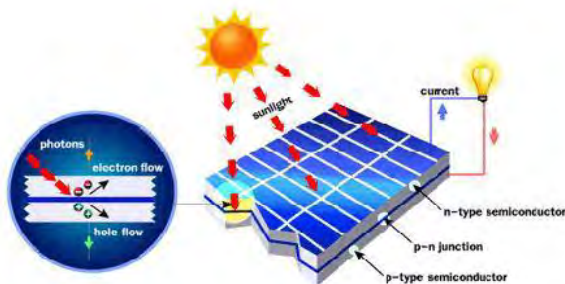
2.1.2 Prinsip kerja Sel Surya

Sel surya bekerja menggunakan prinsip p-n junction, yaitu junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan hole tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant. Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon didoping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n, silikon didoping oleh atom fosfor. **Gambar 2.3** menggambarkan junction semikonduktor tipe-p dan tipe-n [2].



Gambar 2.3P – N junction [2]

Peran dari p-n junction ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron (dan hole) bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran elektron dan hole ini maka terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susuna p-n junction ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya hole bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang, seperti diilustrasikan pada **Gambar 2.4** [3].



Gambar 2.4 Sistem kerja sel surya [3]

2.2 Termoelektrik

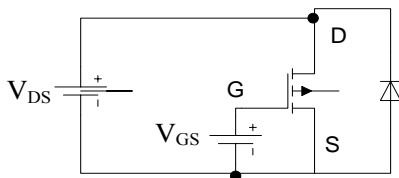
Fenomena termoelektrik pertama kali ditemukan tahun 1821 oleh ilmuwan Jerman, Thomas Johann Seebeck. Ia menghubungkan tembaga dan besi dalam sebuah rangkaian. Di antara kedua logam tersebut lalu diletakkan jarum kompas. Ketika sisi logam tersebut dipanaskan, jarum kompas ternyata bergerak. Belakangan diketahui, hal ini terjadi karena aliran listrik yang terjadi pada logam menimbulkan medan magnet. Medan magnet inilah yang menggerakkan jarum kompas. Fenomena tersebut kemudian dikenal dengan efek *Seebeck*. Penemuan Seebeck ini memberikan inspirasi pada Jean Charles Peltier untuk melihat kebalikan dari fenomena tersebut. Dia mengalirkan listrik pada dua buah logam yang direkatkan dalam sebuah rangkaian. Ketika arus listrik dialirkan, terjadi penyerapan panas pada sambungan kedua logam tersebut dan pelepasan panas pada sambungan yang lainnya. Pelepasan dan penyerapan panas ini saling berbalik begitu arah arus dibalik. Penemuan yang terjadi pada tahun 1934 ini kemudian dikenal dengan efek *Peltier*. Efek *Seebeck* dan *Peltier* inilah yang kemudian menjadi dasar pengembangan teknologi Termoelektrik.

2.2.1 Prinsip kerja Termoelektrik

Termoelektrik bekerja dengan cara memanfaatkan efek *Seebeck*. Efek *Seebeck* menggambar kan sebuah tegangan induksi didalam suatu sirkuit yang terdiri dari dua material yang mempunyai konduktivitas yang berbeda, yang di sambungkan pada dua temperatur yang berbeda.

2.3 MOSFET

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) merupakan sebuah saklar semikonduktor yang berfungsi sebagai saklar ON dan OFF dari suatu rangkaian elektronika



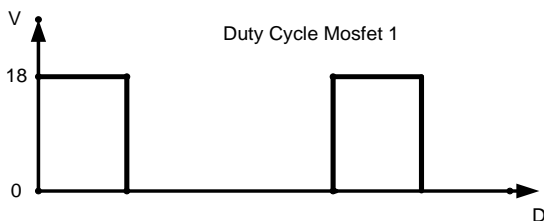
Gambar 2.5 Rangkaian ekivalen MOSFET

Gambar 2.5 merupakan gambar rangkaian MOSFET. Di dalam MOSFET terdapat 3 terminal. 1 terminal sebagai pengendali dan 2 terminal lainnya sebagai bagian yang dikendalikan dari saklar tersebut. Terminal yang bertindak sebagai pengendali adalah terminal Gate (G) dan terminal yang dikendalikan adalah terminal Source (S) dan Drain (D). V_{DS} merupakan tegangan dari sumber yang terhubung dengan *drain* dan *source* sedangkan V_{GS} merupakan tegangan yang berasal dari rangkaian mikrokontroler yang mengeluarkan sinyal PWM (Pulse Width Modulation). Apabila V_{GS} dalam keadaan bertegangan, maka saklar MOSFET tersebut dalam keadaan ON dan dapat mengalirkan arus dari *drain* ke *source*. Sebaliknya, apabila V_{GS} dalam keadaan tidak bertegangan, maka saklar MOSFET tersebut dalam keadaan OFF dan tidak dapat mengalirkan arus dari *drain* ke *source*.

2.4 PWM (Pulse Width Modulation)

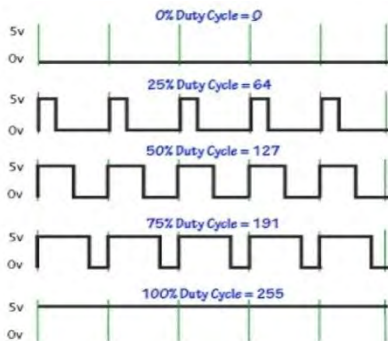
Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu perioda, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Beberapa contoh aplikasi PWM adalah pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, *audio effect* dan penguatan, serta aplikasi-aplikasi lainnya. Aplikasi PWM berbasis mikrokontroler biasanya berupa pengendalian kecepatan motor DC, pengendalian motor servo, pengaturan nyala terang LED dan lain sebagainya.

Sinyal PWM pada umumnya memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Lebar Pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya, Sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun *duty cycle* bervariasi (antara 0% hingga 100%). Contoh dari gambar sinyal PWM dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Contoh PWM

Pulse Width Modulation(PWM) merupakan salah satu teknik untuk mendapatkan signal analog dari sebuah piranti digital. Sebenarnya Sinyal PWM dapat dibangkitkan dengan banyak cara, dapat menggunakan metode analog dengan menggunakan rankaian op-amp atau dengan menggunakan metode digital. Dengan metode analog setiap perubahan PWM-nya sangat halus, sedangkan menggunakan metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Resolusi adalah jumlah variasi perubahan nilai dalam PWM tersebut. Misalkan suatu PWM memiliki resolusi 8 bit berarti PWM ini memiliki variasi perubahan nilai sebanyak $2^8 = 256$ variasi mulai dari 0 – 255 perubahan nilai yang mewakili *duty cycle* 0 – 100% dari keluaran PWM tersebut. Pada **Gambar 2.7** dapat dilihat variasi dari lebar pulsa PWM.



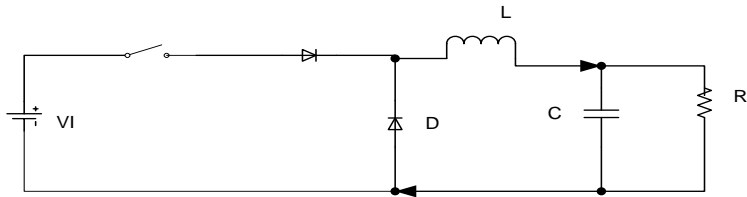
Gambar 2.7 Variasi lebar pulsa PWM [5]

2.5 *Buck Converter*

Buck Converter merupakan konverter DC yang dapat mengeluarkan tegangan output rata – rata yang lebih rendah dari pada tegangan input rata – rata.

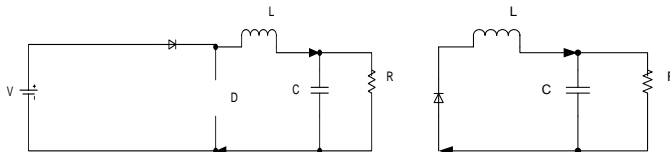
2.5.1 Prinsip Kerja *Buck Converter*

Gambar rangkaian *buck converter* dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8 Rangkaian *buck converter*

Pada dasarnya cara kerja *buck converter* dapat dibagi dalam 2 mode kerja. Mode yang pertama adalah pada saat saklar MOSFET konduksi atau dalam kondisi ON. Arus dari sumber akan mengalir melalui induktor L dan beban R . mode pertama ini juga disebut sebagai mode pengisian arus induktor. Mode yang kedua adalah pada saat saklar MOSFET non – konduksi atau dalam kondisi OFF. Pada mode ini dioda freewheeling D akan konduksi karena adanya aliran arus pengosongan dari induktor, ke beban, dilanjutkan ke D dan akan kembali ke induktor lagi. Karena arus yang mengalir adalah arus pengosongan induktor maka nilai arus akan terus menurun secara linier. Penurunan nilai arus akan terus berlanjut sampai saklar MOSFET konduksi atau ON kembali pada periode berikutnya. **Gambar 2.9** merupakan gambar rangkaian ekuivalen untuk mode pertama dan mode kedua



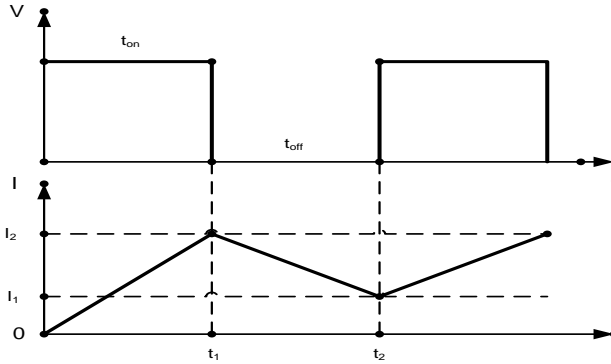
a. Saat MOSFET konduksi

b. Saat MOSFET non konduksi

Gambar 2.9 Rangkaian ekuivalen mode pertama dan mode kedua

2.5.2 Penurunan Rumus *Buck Converter*

Pada **Gambar 2.10** konverter buck bekerja pada mode CCM (*Continuous Current Mode*) pada mode ini arus yang ada pada induktor tidak pernah menyentuh angka 0.



Gambar 2.10 Kurva arus induktor I_L

Karena kurva arus induktor berbentuk kurva linier, maka perumusan dari buck konverter dapat dituliskan dengan :

Saat MOSFET konduksi :

$$di = \Delta I = I_1 - I_2 \quad (2.1)$$

$$dt = t_{on} = t_1 - t_0 \quad (2.2)$$

Saat MOSFET padam :

$$di = -\Delta I = -(I_1 - I_2) \quad (2.3)$$

$$dt = t_{off} = t_2 - t_1 \quad (2.4)$$

Duty cycle (D) adalah rasio antara interval waktu menyalanya saklar MOSFET dengan periode pensaklaran

$$k = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \quad (2.5)$$

$$t_{on} = k T \quad (2.6)$$

$$t_{off} = (1 - k) T \quad (2.7)$$

Sesuai dengan hukum kirchoff, pada saat mode pertama (saklar MOSFET sedang konduksi atau ON), maka persamaan rangkaian *buck converter* dapat dituliskan :

$$V_S = V_L - V_R \quad (2.8)$$

$$V_S = L \frac{di}{dt} - V_R \quad (2.9)$$

$$V_S = L \frac{\Delta I}{t_{on}} - V_R \quad (2.10)$$

Pada saat mode kedua (saklar MOSFET tidak dalam keadaan konduksi atau OFF) induktor berubah menjadi sumber tegangan atau sumber arus, sehingga diode D akan konduksi. Tegangan sumber V_S terpisah dari sistem induktor L dan beban R. rangkaian dapat dilihat pada **Gambar 2.9.b**. Maka persamaan yang memenuhi hokum kirchoff adalah sebagai berikut :

$$V_L = V_R \quad (2.11)$$

$$L \frac{\Delta I}{t_{off}} = V_R \quad (2.12)$$

$$L \Delta I = V_R t_{off} \quad (2.13)$$

Persamaan pada mode pertama dan mode kedua disubstitusikan. Diinginkan tegangan sumber V_S dan tengangan beban V_R tetap ada dalam persamaan, maka variabel yang dieliminasi adalah $L \Delta I$

$$\text{Mode pertama} - V_S = L \frac{\Delta I}{t_{on}} - V_R \quad (2.14)$$

$$\text{Mode kedua} - L \Delta I = V_R t_{off} \quad (2.15)$$

Dari hasil subtitusi kedua persamaan diatas akan diperoleh

$$V_S = V_R \frac{t_{off}}{t_{on}} + V_R \quad (2.16)$$

$$V_S = V_R \left(\frac{t_{off}}{t_{on}} + 1 \right) \quad (2.17)$$

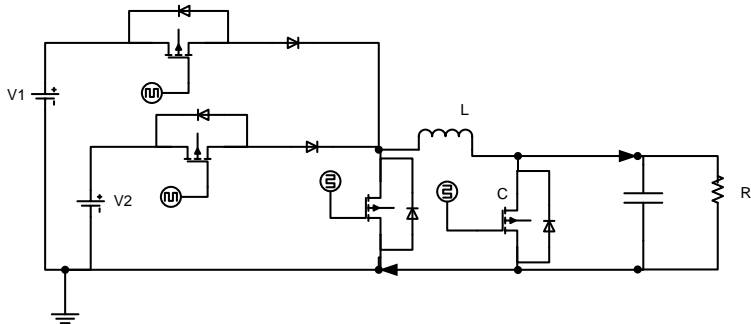
$$V_R = kV_s \quad (2.18)$$

Dari persamaan akhir yang diperoleh dapat diketahui bahwa nilai tegangan beban yang akan diperoleh sama dengan nilai dari *duty cycle* di kali dengan nilai tegangan sumber.

2.6 Multiple Input Converter

Gambar 2.11 merupakan topologi dari *Multiple Input Buck – Boost Converter* dari literatur yang penulis gunakan. Topologi tersebut dapat beroperasi dalam mode *buck*, *boost*, dan *buck – boost*. Namun penulis hanya menggunakan mode *Multiple Input Buck* dalam alat yang penulis realisasikan dan Tugas Akhir yang penulis kerjakan.

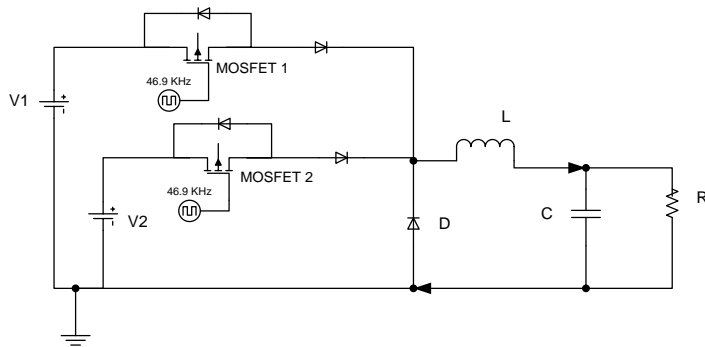
2.6.1 Topologi Sistem



Gambar 2.11 Topologi dalam literatur

Gambar 2.12 merupakan topologi *Multiple Input Buck Converter* yang penulis gunakan dalam merealisasikan alat dan mengerjakan Tugas Akhir penulis.

Nilai tegangan pada topologi di **Gambar 2.12** diasumsikan $V_1 > V_2$

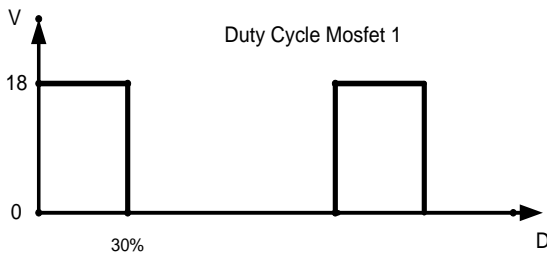


Gambar 2.12 Topologi yang dipakai

2.6.2 Strategi Pensaklaran *Multiple Input Buck Converter* (MIBC)

Pada topologi *Multiple Input Buck Converter* (seperti yang terlihat pada **Gambar 2.12**) terdapat 2 sumber DC paralel yang dimana masing – masing sumber DC tersebut menggunakan 1 buah MOSFET, sehingga total terdapat 2 buah MOSFET yang berfungsi sebagai saklar elektronik. MOSFET 1 dan MOSFET 2 mempunyai frekuensi pensaklaran yang sama, dengan *leading edge* atau waktu konduksi dari MOSFET yang bersamaan dengan perbedaan pada waktu nonkonduksi nya.

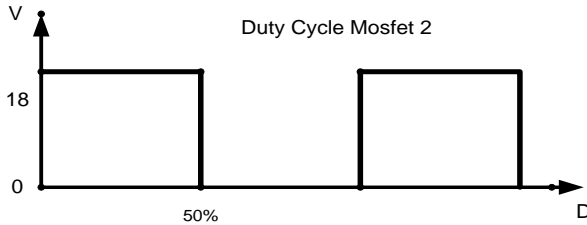
Dengan asumsi nilai tegangan $V_1 > V_2$ pada **Gambar 2.12**, maka strategi pensaklaran untuk masing – masing MOSFET adalah sebagai berikut :



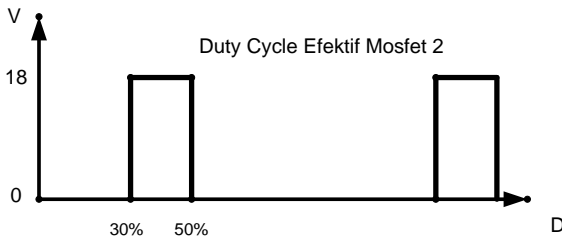
Gambar 2.13 Strategi pensaklaran MOSFET 1

Gambar 2.13 merupakan duty cycle dari V_1 . Dapat dilihat bahwa MOSFET 1 hanya akan konduksi atau ON ketika duty cycle dalam

kondisi *high* atau bernilai 18 volt dan begitu pula sebaliknya, MOSFET 1 akan nonkonduksi atau OFF ketika duty cycle dalam kondisi *low* atau bernilai 0 volt.



Gambar 2.14 Strategi pensaklaran MOSFET 2

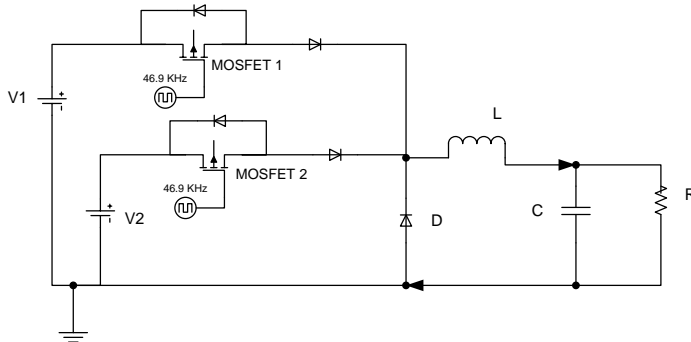


Gambar 2.15 *Duty cycle* efektif MOSFET 2

Gambar 2.14 merupakan duty cycle dari V_2 . Dapat dilihat bahwa MOSFET 2 hanya akan konduksi atau ON ketika duty cycle dalam kondisi *high* atau bernilai 18 volt dan begitu pula sebaliknya, MOSFET 2 akan nonkonduksi atau OFF ketika duty cycle dalam kondisi *low* atau bernilai 0. Walaupun MOSFET 2 telah dalam keadaan ON, V_2 tidak akan mengalirkan arus apabila MOSFET 1 masih dalam keadaan ON sehingga V_1 masih dalam keadaan mengalirkan arus. Seperti yang telah di asumsikan, nilai tegangan $V_1 > V_2$. Sehingga apabila V_1 dan V_2 aktif dalam keadaan bersamaan, maka hanya V_1 yang akan mengeluarkan arus dan V_2 tidak akan mengeluarkan arus. Oleh karena itu V_2 hanya akan mengeluarkan arus pada saat MOSFET 1 telah OFF dan MOSFET 2 masih dalam keadaan ON. Wilayah *duty cycle* efektif dari V_2 dapat terlihat pada **Gambar 2.15**.

2.6.3 Prinsip Kerja dan Penurunan Rumus *Multiple Input Buck Converter*(MIBC)

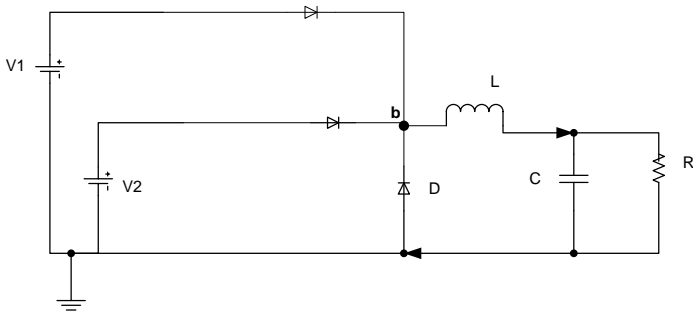
Gambar 2.16 merupakan gambar topologi utama mengenai *Multiple Input Buck Converter*. Pada sistem *Converter* ini nilai arus dari induktor nya tidak pernah menyentuh angka 0 ,dan mode ini disebut dengan *Continuous Conduction Mode* (CCM).



Gambar 2.16 *Multiple Input Buck Converter*

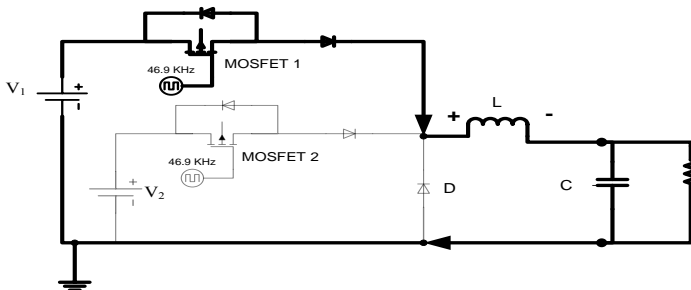
Pada mode CCM, arus induktor selalu lebih besar dari pada 0. Oleh karena itu salah satu diantara MOSFET 1, MOSFET 2 dan dioda D pasti ada yang sedang dalam keadaan konduksi. Jika MOSFET 1 atau MOSFET 2 sedang dalam keadaan konduksi atau ON, maka dioda D pasti dalam keadaan tidak konduksi atau OFF, tetapi apabila MOSFET 1 dan MOSFET 2 sedang dalam keadaan tidak konduksi atau OFF, maka dioda D pasti akan dalam keadaan konduksi atau ON. Pada saat MOSFET 1 dan MOSFET 2 sedang dalam keadaan konduksi atau ON secara bersamaan, maka nilai dari tegangan induktor ditambah tegangan output ($V_L + V_O$) sama dengan nilai tegangan sumber yang paling besar.

Pada rangkaian *Multiple Input Buck Converter* (**Gambar 2.17**) penulis memberikan nilai tegangan $V_1 > V_2$ dan nilai *duty cycle* MOSFET 1 > MOSFET 2. Seperti yang terlihat pada **Gambar 2.13** dan 2.16, bahwa waktu penyalan saklar MOSFET 1 dan MOSFET 2 sama, yaitu pada saat 0% *duty cycle* atau pada saat 0 detik yang berbeda adalah waktu mati antara saklar MOSFET 1 dan MOSFET 2.



Gambar 2.17 MOSFET 1 dan MOSFET 2 konduksi

Gambar 2.17 merupakan gambar rangkaian *Multiple Input Buck Converter* pada saat MOSFET 1 dan MOSFET 2 dinyalakan, maka V_1 dan V_2 terhubung dengan rangkaian beban. Akan tetapi V_1 dan V_2 tidak akan mengeluarkan arus secara bersamaan, hanya tegangan yang lebih besarlah yang akan mengeluarkan arus dan memberikan suplai terhadap beban R . Dikarenakan $V_1 > V_2$, maka hanya V_1 lah yang akan mengeluarkan arus. Hal ini dikarenakan tegangan pada poin “b” (**Gambar 2.17**) sama dengan nilai tegangan yang paling besar, sehingga walaupun saklar MOSFET 2 telah konduksi atau ON, nilai tegangan V_2 masih lebih kecil dari pada tegangan pada poin “b”. Karena nilai tegangan pada V_2 lebih kecil daripada tegangan pada poin “b”, maka arus tidak akan mengalir dari V_2 menuju ke poin “b” dan seakan – akan rangkaian pada V_2 masih dalam keadaan open.



Gambar 2.18 Saat MOSFET 1 konduksi dan MOSFET 2 konduksi

Pada **Gambar 2.18** terlihat cara kerja dari rangkaian *Multiple Input Buck Converter* apabila saklar MOSFET 1 dalam keadaan konduksi sehingga V_1 akan tersambung ke rangkaian beban dan akan mengeluarkan arus. Setelah V_1 mengeluarkan arus maka arus tersebut akan mengalir di dalam suatu rangkaian loop tertutup yaitu mengisi induktor L dan mengalir beban R dengan arus. Arus tersebut akan terus mengalir induktor L dan beban R sampai saklar MOSFET 1 masuk dalam keadaan nonkonduksi, dan V_1 akan terpisah dengan rangkaian beban. *Duty cycle* dari MOSFET 1 dapat dilihat di **Gambar 2.13**. Keadaan saat saklar MOSFET 1 yang sedang dalam keadaan konduksi dan tegangan V_1 mengeluarkan arus untuk mensuplai rangkaian beban dapat dituliskan ke dalam persamaan sebagai berikut :

$$V_1 = V_L + V_R \quad (2.19)$$

$$L \frac{dI_L}{dt} = V_1 - V_R \quad (2.20)$$

$$\Delta I_{L1} = \frac{V_1 - V_R}{L} t_{on1} \quad (2.21)$$

$$\Delta I_{L1} = \frac{V_1 - V_R}{L} D_1 T \quad (2.22)$$

Dimana:

V_1 = nilai tegangan dari sumber 1

V_L = nilai tegangan induktor

V_R = nilai tegangan dari beban R

t_{on1} = nilai dari waktu konduksi MOSFET 1

D_1 = nilai *duty cycle* dari MOSFET 1

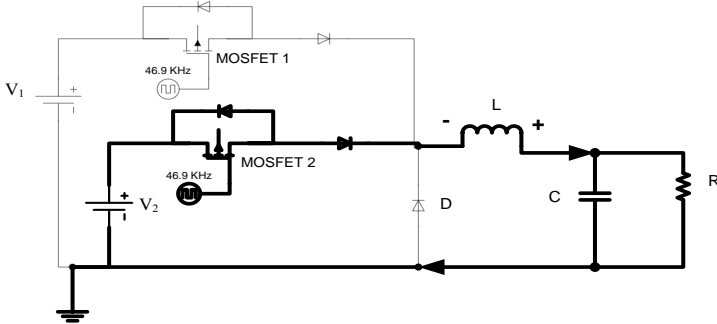
T = nilai dari satu periode *duty cycle*

ΔI_{L1} = nilai dari *ripple* arus induktor pada saat MOSFET 1 konduksi dan induktor L dalam keadaan *charging*

Pada saat saklar MOSFET 1 dalam keadaan konduksi dan tegangan V_1 mengeluarkan arus, induktor L akan dalam keadaan *charging* dan nilai arus yang ada di dalam induktor L akan naik terus. Setelah saklar MOSFET 1 dalam keadaan nonkonduksi, maka induktor L akan dalam

keadaan *discharging* dan nilai arus induktor L akan menurun secara perlahan.

Setelah saklar MOSFET 1 dalam keadaan nonkonduksi atau OFF, maka saklar MOSFET 2 yang masih dalam keadaan konduksi atau ON akan mengalirkan arus dari sumber V_2 ke rangkaian beban. *Duty cycle* dan waktu dari mengalirnya arus dari V_2 menuju ke rangkaian beban dapat dilihat pada **Gambar 2.12** dan **2.15**. Di dalam **Gambar 2.17** dapat dilihat cara kerja dari rangkaian *Multiple Input Buck Converter* saat saklar MOSFET 1 dalam keadaan nonkonduksi dan MOSFET 2 masih dalam keadaan konduksi sehingga tegangan V_2 dapat mengeluarkan arus yang menuju ke rangkaian beban. Pada saat ini induktor L telah mempunyai nilai arus yang cukup besar, yang menjadikan induktor L menjadi sebuah sumber arus dan melakukan proses *discharging*.



Gambar 2.19 Saat MOSFET 1 nonkonduksi dan MOSFET 2 konduksi

Berdasarkan **Gambar 2.19** , maka keadaan saat saklar MOSFET 2 yang sedang dalam keadaan konduksi dan tegangan V_2 mengeluarkan arus untuk mensuplai rangkaian beban dapat dituliskan ke dalam persamaan sebagai berikut :

$$V_2 + V_L = V_R \quad (2.23)$$

$$L \frac{dI_L}{dt} = V_R - V_2 \quad (2.24)$$

$$\Delta I_{L2} = \frac{V_R - V_2}{L} t_{on2} \quad (2.25)$$

$$\Delta I_{L2} = \frac{V_R - V_2}{L} (D_2 - D_1) T \quad (2.26)$$

Dimana :

V_2 = nilai tegangan dari sumber 2

V_L = nilai tegangan induktor

V_R = nilai tegangan dari beban R

t_{on2} = nilai dari waktu konduksi MOSFET 2

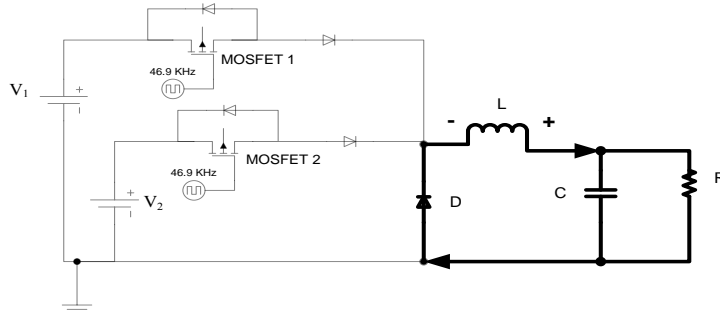
D_1 = nilai *duty cycle* dari MOSFET 1

D_2 = nilai *duty cycle* dari MOSFET 2

T = nilai dari satu periode *duty cycle*

ΔI_{L2} = nilai dari *ripple* arus induktor pada saat MOSFET 2 konduksi dan induktor L dalam keadaan *discharging*

Setelah saklar MOSFET 2 dalam keadaan nonkonduksi atau OFF, maka kedua sumber tegangan yaitu V_1 dan V_2 tidak tersambung dengan rangkaian beban. Sehingga pada saat ini induktor L berfungsi sebagai sumber arus / sumber tegangan.



Gambar 2.20 Saat MOSFET 1 dan MOSFET 2 nonkonduksi

Seperti yang terlihat pada **Gambar 2.20**, pada saat ini MOSFET 1 dan MOSFET 2 telah dalam keadaan nonkonduksi. Sehingga induktor L akan berfungsi sebagai sumber tegangan / arus dan dioda D akan masuk ke dalam keadaan konduksi pada saat ini, sehingga akan terbentuk loop

tertutup antara induktor L, beban R, kapasitor C dan dioda D. keadaan dari **Gambar 2.20** dapat dituliskan ke dalam persamaan sebagai berikut:

$$V_L = V_R \quad (2.27)$$

$$L \frac{dI_L}{dt} = V_R \quad (2.28)$$

$$\Delta I_{L3} = \frac{V_R}{L} t_{off} \quad (2.29)$$

$$\Delta I_{L3} = \frac{V_R}{L} (1 - D_2)T \quad (2.30)$$

Dimana :

V_L = nilai tegangan induktor

V_R = nilai tegangan dari beban R

t_{off} = nilai dari waktu nonkonduksi MOSFET 1 dan MOSFET 2

D_2 = nilai *duty cycle* dari MOSFET 2

T = nilai dari satu periode *duty cycle*

ΔI_{L3} = nilai dari *ripple* arus induktor pada saat MOSFET 1 dan MOSFET 2 nonkonduksi

Dari Persamaan (2.22), (2.26), (2.30) bisa didapatkan persamaan akhir antara V_L , V_2 dan V_R dengan cara mensubstitusikan nilai ΔI_L ke dalam Persamaan (2.32) yang ada dibawah ini

$$\Delta I_{L1} - (\Delta I_{L2} + \Delta I_{L3}) = 0 \quad (2.31)$$

$$\Delta I_{L1} = \Delta I_{L2} + \Delta I_{L3} \quad (2.32)$$

Dari Persamaan (2.32) bahwa nilai dari ΔI_L pada saat MOSFET 1 konduksi sama dengan nilai ΔI_L pada saat MOSFET 2 konduksi ditambah dengan nilai ΔI_L pada saat MOSFET 1 dan MOSFET 2 dalam keadaan nonkonduksi. Hal ini dikarenakan menurut persamaan *volt second balance*, nilai arus dalam induktor L pada saat *charging* harus sama dengan nilai arus induktor L pada saat *discharging*. Nilai arus *charging* induktor L adalah ΔI_{L1} sedangkan nilai arus *discharging* induktor L adalah ΔI_{L2} dan ΔI_{L3} .

Substitusi Persamaan (2.22), (2.26), (2.30) ke dalam Persamaan (2.32) akan menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{V_1 - V_R}{L} D_1 T = \frac{V_R - V_2}{L} (D_2 - D_1) T + \frac{V_R}{L} (1 - D_2) T \quad (2.33)$$

$$((V_1 - V_R) D_1) \frac{T}{L} = ((V_R - V_2)(D_2 - D_1) + V_R(1 - D_2)) \frac{T}{L} \quad (2.34)$$

Nilai dari $\frac{T}{L}$ pada Persamaan (2.34) dapat dieliminasi, sehingga menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$(V_1 - V_R) D_1 = (V_R - V_2)(D_2 - D_1) + V_R(1 - D_2) \quad (2.35)$$

$$V_1 \cdot D_1 - V_R \cdot D_1 = V_R \cdot D_2 - V_R \cdot D_1 - V_2 \cdot D_2 + V_2 \cdot D_1 + V_R - V_R \cdot D_2 \quad (2.36)$$

$$V_1 \cdot D_1 + V_2 \cdot D_2 - V_2 \cdot D_1 = V_R \cdot D_1 + V_R \cdot D_2 - V_R \cdot D_1 + V_R - V_R \cdot D_2 \quad (2.37)$$

$$V_1 \cdot D_1 + V_2(D_2 - D_1) = V_R \quad (2.38)$$

$$V_R = D_1 \cdot V_1 + (D_2 - D_1) \cdot V_2 \quad (2.39)$$

Dari Persamaan (2.39) dapat dilihat bahwa nilai dari tegangan beban atau tegangan output didapatkan dari nilai tegangan sumber V_1 dikali dengan nilai *duty cycle effective* MOSFET 1, yaitu D_1 di tambah dengan nilai tegangan sumber V_2 dikali dengan nilai *duty cycle effective* MOSFET 2, yaitu $(D_2 - D_1)$. *Duty cycle effective* MOSFET merupakan rentang waktu dimana *duty cycle* masih dalam keadaan ON dan arus dari sumber mengalir melewati MOSFET tersebut sampai *duty cycle* OFF.

Bab 3

Desain dan Simulasi *Multiple Input Converter*

3.1 Penentuan Nilai – Nilai Parameter pada Simulasi dan Implementasi alat

Dalam melakukan simulasi dan implementasi alat, pertama – tama kita harus menentukan nilai – nilai dari parameter yang akan di masukkan ke dalam simulasi dan implementasi alat. Nilai – nilai parameter yang akan dihitung untuk dimasukkan ke dalam simulasi dan implementasi alat adalah tegangan beban atau output V_R , frekuensi switching untuk MOSFET, induktor L dan kapasitor C. Untuk mencari nilai – nilai tersebut, dibutuhkan nilai parameter yang sudah ditentukan sejak awal, seperti nilai beban R, nilai *duty cycle* D_1 dan D_2 , dan nilai tegangan input V_1 dan V_2 .

Salah satu nilai parameter yang akan digunakan dalam simulasi dan pembuatan alat adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Parameter simulasi

Parameter	Nilai Besaran
R	6 ohm
V1	20 Volt
V2	5 Volt
D1	0.32 Ampere
D2	0.51 Ampere
f Switching	46.875KHertz

3.1.1 Penentuan Nilai Tegangan Output

Dalam menentukan nilai dari tegangan output penulis akan menggunakan persamaan yang telah didapatkan di **Bab 2**, yaitu dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_R = D_1 \cdot V_1 + (D_2 - D_1) \cdot V_2 \quad (3.1)$$

$$V_R = 0.32 \times 20 + (0.51 - 0.32) \times 5$$

$$V_R = 6.4 + 0.95$$

$$V_R = 7.35 \text{ Volt}$$

3.1.2 Penentuan Nilai Induktor L

Dalam menentukan nilai dari induktor L, pertama – tama nilai dari *ripple* arus induktor atau ΔI_L harus di cari terlebih dahulu. *Ripple* arus induktor biasanya bernilai antara 20% sampai dengan 40% dari nilai arus output atau I_O . arus output I_O bisa didapatkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_O = \frac{V_R}{R} \quad (3.2)$$

$$I_O = \frac{7.35}{6} = 1.225 \text{ Ampere}$$

Untuk mencari nilai dari *ripple* arus induktor, penulis menggunakan nilai 20% dari nilai arus output

$$20\% \times I_O = 20\% \times 1.225 = 0.245 \text{ Ampere}$$

Setelah nilai dari *ripple* arus induktor telah didapatkan, sekarang nilai dari induktor L dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta I_{L1} = \frac{V_1 - V_R}{L} D_1 T \quad (3.3)$$

$$L = \frac{V_1 - V_R}{\Delta I_{L1}} D_1 \cdot \frac{1}{46875}$$

$$L = \frac{20-7.35}{0.245} \times 0.32 \times 0.0000213$$

$$L = 352,473 \text{ mH} = 352.5 \mu\text{H}$$

3.1.3 Penentuan Nilai Kapasitor C

Dalam menghitung nilai dari kapasitor C, penulis akan menggunakan persamaan tegangan pada saat kondisi pengosongan kapasitor. Kondisi pengosongan kapasitor C terjadi pada saat MOSFET 1 dan MOSFET 2 sedang dalam keadaan nonkonduksi, sehingga dioda D sedang dalam keadaan konduksi. Seperti dalam penghitungan nilai induktor L, dalam mencari nilai kapasitor C, penulis harus menentukan nilai dari *ripple* tegangan output ΔV . Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai dari ripple tegangan ΔV adalah

$$\Delta V = V_{\max} - V_{\min} \quad (3.4)$$

V_{\max} pada Persamaan (3.4) merupakan nilai tegangan output maximum yang dapat diperoleh dari tegangan beban V_R ditambah dengan setengah *ripple* tegangan $\frac{\Delta V}{2}$, sedangkan V_{\min} merupakan nilai dari tegangan output minimum yang dapat diperoleh dari tegangan beban V_R dikurangi dengan setengah *ripple* tegangan $\frac{\Delta V}{2}$.

$$V_{\max} = V_R + \frac{\Delta V}{2} \quad (3.5)$$

$$V_{\min} = V_R - \frac{\Delta V}{2} \quad (3.6)$$

Persamaan tegangan kapasitor yang digunakan untuk mencari nilai dari kapasitor adalah sebagai berikut :

$$V_{\min} = V_{\max}(e^{-\frac{1}{RC}t_{\text{off}}}) \quad (3.7)$$

$$V_{\max} - V_{\min} = V_{\max} - V_{\max}(e^{-\frac{1}{RC}t_{\text{off}}}) \quad (3.8)$$

$$\Delta V = V_{\max}(1 - e^{-\frac{t_{\text{off}}}{RC}}) \quad (3.9)$$

Persamaan (3.9) dapat dibuat menjadi lebih sederhana dengan menggunakan deret taylor seperti di bawah ini :

$$y = e^{-x} \approx (1 - x), \text{ jika } x \ll 1 \quad (3.10)$$

$$\Delta V = V_{\max}\left(\frac{t_{\text{off}}}{RC}\right) \quad (3.11)$$

$$C = \frac{V_{\max} \cdot t_{\text{off}}}{R \cdot \Delta V} \quad (3.12)$$

Dengan Persamaan (3.12) penulis bisa mendapatkan nilai dari kapasitor C yang sedang penulis cari. Nilai dari ΔV penulis tentukan sama dengan 0.02 Volt sehingga $V_{\max} = 7.35 + 0.01 = 7.36$ Volt. Nilai dari $R = 6$ ohm. Nilai dari $t_{\text{off}} = \frac{1}{T} = \frac{1}{46875} = 0.00002133$ s. dengan demikian nilai dari kapasitor C adalah sebagai berikut :

$$C = \frac{7.36 \times 0.00002133}{6 \times 0.02} = 0.00131 = 131 \text{ mF}$$

3.2 Hasil Simulasi dengan Software PSIM

Dengan didapatkannya nilai – nilai parameter tegangan beban atau output V_R , nilai induktor L , dan nilai kapasitor C pada sub bab 3.1, maka langkah selanjutnya adalah dengan mensimulasikan rangkaian *Multiple Input Buck Converter* dengan software PSIM. Nilai – nilai parameter yang akan dimasukkan ke dalam PSIM adalah sebagai berikut :

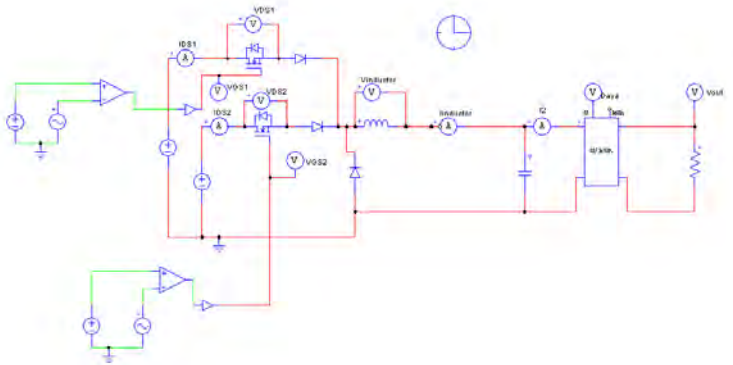
$V_1 = 20 \text{ Volt}$

$V_2 = 5 \text{ Volt}$

$R = 6 \text{ Ohm}$

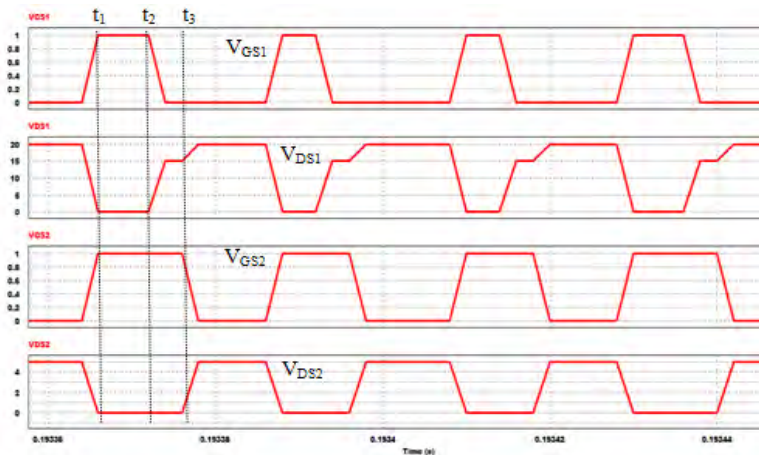
$L = 352 \mu\text{H}$

$C = 1 \text{ mF}$



Gambar 3.1 Desain *Multiple Input Converter* dalam PSIM

Dari hasil simulasi **Gambar 3.1** akan diambil dan ditampilkan 4 macam data simulasi, yaitu V_{GS} dan V_{DS} dari setiap MOSFET, I_{DS} dari setiap MOSFET, arus induktor I_L , dan tegangan output V_R . Dari setiap data simulasi yang diambil, penulis akan menampilkan data pada wilayah *steady state* dan akan di perbesar atau *zoom in* pada bagian tersebut.



Gambar 3.2 V_{GS1} , V_{GS2} , V_{DS1} dan V_{DS2}

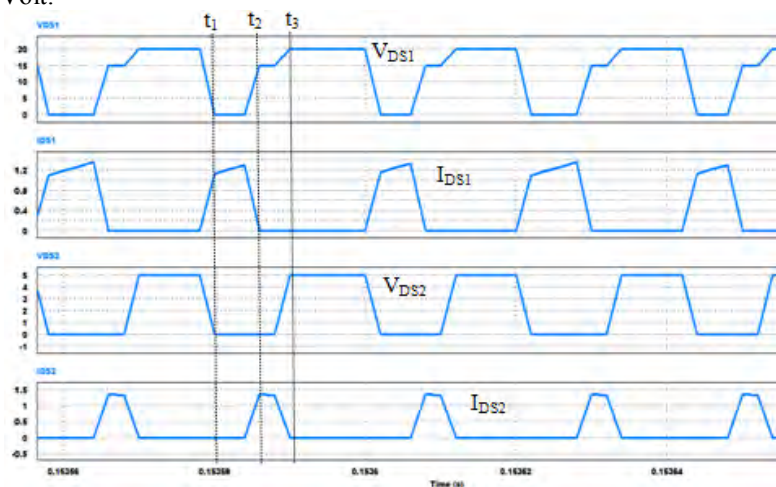
Gambar 3.2 merupakan gambar dari sinyal V_{DS1} dan V_{DS2} terhadap sinyal V_{GS1} dan V_{GS2} pada saat *Multiple Input Converter* disimulasikan. Pada **Gambar 3.2**, tigasagian waktu diambil sebagai *sample*, yaitu t_1 , t_2 , t_3 , untuk dianalisis bentuk gelombang sinyalnya.

Pada saat kondisi t_1 , sinyal V_{GS1} dan V_{GS2} mencapai posisi *high*, sehingga MOSFET 1 dan MOSFET 2 sedang dalam keadaan konduksi. Saat ini sinyal dari V_{DS1} dan V_{DS2} pasti akan bernilai 0, karena pada saat MOSFET dalam keadaan konduksi, sehingga rangkaian antara *Drain* (D) dan *Source* (S) di dalam MOSFET sedang dalam keadaan *short* atau tersambung, sehingga nilai tegangan antara *Drain* dan *Source* nya pasti bernilai 0.

Pada saat kondisi t_2 , sinyal dari V_{GS1} telah mencapai posisi *low*, sedangkan sinyal dari V_{GS2} masih dalam posisi *high*, sehingga pada saat ini MOSFET 1 dalam keadaan nonkonduksi, sedangkan MOSFET 2 masih dalam keadaan konduksi. Pada saat ini sinyal dari V_{DS1} telah memiliki nilai, karena pada saat ini MOSFET 1 sedang dalam keadaan nonkonduksi, sehingga rangkaian antara *Drain* (D) dan *Source* (S) di dalam MOSFET 1 sedang dalam keadaan *open*. Sinyal dari V_{DS2} pada saat masih belum memiliki nilai, karena pada saat ini MOSFET 2 sedang dalam keadaan konduksi, sehingga rangkaian antara *Drain* (D) dan *Source* (S) di dalam MOSFET 2 sedang dalam keadaan *short* atau tersambung. Nilai tegangan dari V_{DS1} pada saat ini tidak sama dengan

nilai dari tegangan sumber V_1 yang bernilai 20 Volt. Hal ini dikarenakan MOSFET 2 masih dalam keadaan konduksi dan terhubung dengan sumber tegangan V_2 , sehingga terdapat perbedaan tegangan antara V_1 dan V_2 . Nilai tegangan dari V_{DS1} pada saat ini adalah $V_1 - V_2 = 20 - 5 = 15V$.

Pada saat kondisi t_3 , sinyal dari V_{GS1} dan V_{GS2} telah mencapai posisi *low*, sehingga MOSFET 1 dan MOSFET 2 sedang dalam keadaan nonkonduksi. Saat ini sinyal dari V_{DS1} dan V_{DS2} telah memiliki nilai. Hal ini dikarenakan pada saat MOSFET 1 dan MOSFET 2 sedang dalam keadaan nonkonduksi, sehingga rangkaian antara *Drain* (D) dan *Source* (S) di dalam MOSFET 1 dan MOSFET 2 sedang dalam keadaan *open*. Pada saat ini nilai tegangan dari V_{DS1} adalah 20 Volt dan V_{DS2} adalah 5 Volt.



Gambar 3.3 V_{DS1} , I_{DS1} , V_{DS2} , dan I_{DS2}

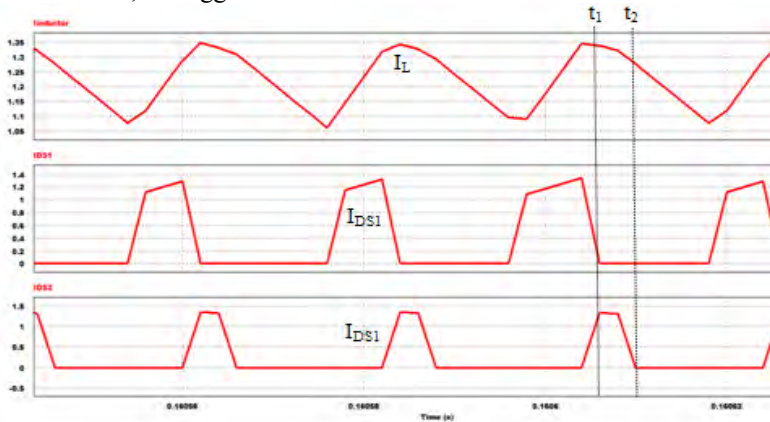
Gambar 3.3 merupakan gambar dari sinyal I_{DS1} dan I_{DS2} terhadap sinyal V_{DS1} dan V_{DS2} . Pada **Gambar 3.3**, tiga bagian waktu diambil sebagai *sample*, yaitu t_1 , t_2 , t_3 , untuk dianalisis bentuk gelombang sinyalnya.

Pada saat kondisi t_1 , sinyal dari V_{DS1} dan V_{DS2} dalam posisi *low*, karena MOSFET 1 dan MOSFET 2 sedang dalam keadaan konduksi. Saat ini hanya I_{DS1} yang memiliki nilai, karena pada saat kedua

MOSFET sedang dalam keadaan konduksi, hanya MOSFET dengan tegangan sumber paling besar lah yang dapat mengalirkan arus.

Pada saat kondisi t_2 , sinyal dari V_{DS1} memiliki nilai $V_1 - V_2$, sedangkan sinyal dari V_{DS2} dalam keadaan *low*. Pada saat ini MOSFET 1 dalam keadaan nonkonduksi, sedangkan MOSFET 2 sedang dalam keadaan konduksi. Sehingga saat ini I_{DS1} memiliki nilai nol, karena MOSFET 1 sedang dalam keadaan open dan I_{DS2} memiliki nilai maksimum, karena MOSFET 2 sedang dalam keadaan short .

Pada saat kondisi t_3 , sinyal dari V_{DS1} dan V_{DS2} dalam keadaan *high*. Pada saat ini MOSFET 1 dan MOSFET 2 dalam keadaan nonkonduksi, sehingga I_{DS1} dan I_{DS2} sama – sama memiliki nilai nol.

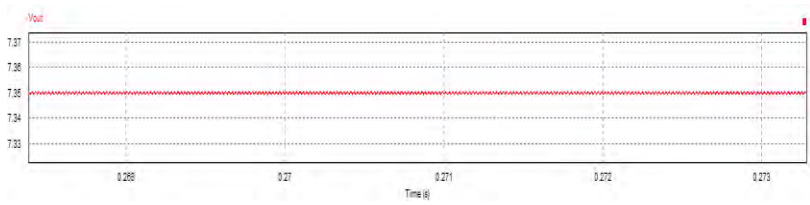


Gambar 3.4 I_L , I_{DS1} , dan I_{DS2}

Gambar 3.4 merupakan gambar dari sinyal I_L terhadap sinyal V_{DS1} dan V_{DS2} . Pada **Gambar 3.4**, dua bagian waktu diambil sebagai *sample*, yaitu t_1 , t_2 , untuk dianalisis bentuk gelombang sinyalnya.

Pada saat kondisi t_1 , induktor L telah selesai di *charge* oleh I_{DS1} dan sinyal dari I_L akan bernilai maksimum, karena pada saat ini I_{DS1} yang memiliki nilai *mean* lebih besar daripada I_{DS2} telah memiliki nilai nol.

Pada saat kondisi t_2 , induktor L telah selesai melakukan *discharge* dan sinyal dari I_L akan bernilai minimum, karena pada saat ini I_{DS1} akan mulai men – *charge* induktor L .



Gambar 3.5 Tegangan output V_O

Gambar 3.5 merupakan gambar sinyal dari tegangan output *Multiple Input Converter*.

Bab 4

Implementasi dan Analisis Data Sel Surya, Termoelektrik dan *Multiple Input Converter*

4.1 Implementasi Sel Surya, Termoelektrik dan *Multiple Input Converter*

Pada **Bab 3** telah dilakukan proses penentuan nilai induktor L dan kapasitor C atau yang biasa disebut proses *sizing*, dan simulasi terhadap alat yang akan penulis implementasikan. Setelah proses tersebut dilalui, selanjutnya adalah dengan merealisasikan alat *Multiple Input Converter*. Sebelum merealisasikan Tugas Akhir ini, pertama tama penulis harus menentukan komponen – komponen beserta spesifikasinya yang sesuai dengan hasil perhitungan dan simulasi. Komponen – komponen yang akan penulis pakai dalam merealisasikan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- Induktor
- Dioda
- Kapasitor
- Saklar semikonduktor (MOSFET)
- Pembangkit sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM)
- Driver
- Termoelektrik
- Sel Surya

4.1.1 Spesifikasi Induktor

Multiple Input Converter menggunakan satu buah induktor yang memiliki inti ferit bertipe *core*, seperti inti ferit yang ada pada transformator 1 fasa. Induktor yang penulis gunakan memiliki nilai induktansi sebesar 350 mH.



Gambar 4.1 Induktor belit

4.1.2 Dioda

Di dalam membuat *Multiple Input Converter*, dioda biasa dengan *recovery time* yang rendah tidak bisa digunakan. Hal ini dikarenakan tingginya frekuensi *switching* yang dipakai dalam MIBC, mencapai 47 kHz, yang berarti waktu untuk satu kali periode *switching* mencapai 2.13×10^{-5} detik, maka diperlukan dioda dengan *recovery time* yang cepat, supaya dapat mengimbangi frekuensi *switching* yang dipakai dalam MIBC. Oleh karena itu dioda MUR 1560 dan BYC 10 – 600 atau biasa disebut dengan *ultrafast recovery diode* lah yang penulis gunakan dalam pembuatan MIBC.



Gambar 4.2 : MUR 1560 dan BYC 10-600

Pada **Gambar 4.2** terdapat 2 gambar, yaitu MUR 1560 dan BYC 10-600. Walaupun kedua dioda tersebut terlihat sama pada penampakan luarnya, namun terdapat perbedaan *recovery time* pada kedua dioda tersebut. MUR 1560 memiliki *recovery time* sebesar 60×10^{-9} s dan BYC 10 – 600 memiliki *recovery time* sebesar 35×10^{-9} s.

4.1.3 Kapasitor

Jenis kapasitor yang digunakan di dalam *Multiple Input Converter* merupakan kapasitor DC dengan nilai kapasitansi sebesar 131 mF. Namun karena di pasaran tidak ada kapasitor DC dengan nilai sebesar 131 mF, maka digunakan kapasitor DC dengan nilai yang paling mendekati, yaitu sebesar 1 mF dengan tegangan maksimum sebesar 50V (Gambar 4.3)



Gambar 4.3 Kapasitor DC

4.1.4 Saklar Semikonduktor (MOSFET)

Multiple Input Converter menggunakan dua buah MOSFET yang terhubung secara paralel. Kedua MOSFET tersebut mempunyai tipe yang sama, yaitu IRFP 460.



Gambar 4.4 MOSFETIRFP 460

4.1.5 Pembangkit sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM)

Untuk menghasilkan sinyal PWM yang akan digunakan untuk mengaktifkan MOSFET, maka digunakan pembangkit sinyal PWM secara digital, yaitu mikrokontroler ATMEGA 16. Mikrokontroler merupakan komponen semikonduktor yang mengandung banyak

transistor yang sudah terbentuk dalam rangkaian terintegrasi dan banyak dipakai untuk aplikasi pengendalian. Untuk *listing* program PWM, dilampirkan pada lembar lampiran. Dalam pengaplikasiannya penulis menggunakan setting frekuensi 46.875 kHz dengan nilai *duty cycle* yang dapat diganti ganti.

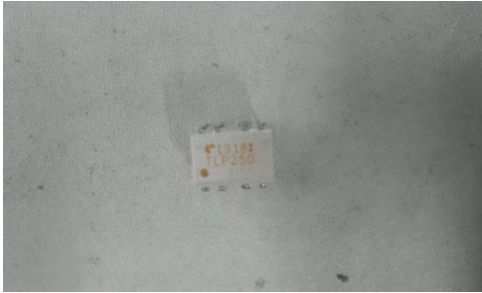


Gambar 4.5 Mikrokontroler

Selain komponen IC ATMEGA 16, seperti pada **Gambar 4.5**, digunakan juga LCD. LCD digunakan sebagai penampil (*display*) nilai *duty cycle* yang akan digunakan dan terbuat dari bahan cairan kristal yang pengoperasiannya menggunakan sistem dot matriks. LCD yang digunakan pada alat ini adalah Type = STN, Reflective, Positive, Yellow Green, dengan tampilan 16 x 2 baris dengan konsumsi daya yang rendah dan tegangan 5 V.

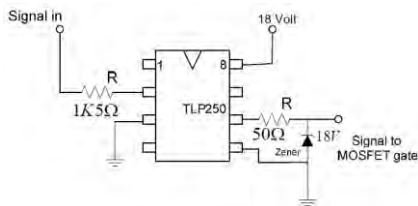
4.1.6 Driver

Rangkaian *driver* merupakan rangkaian yang berfungsi memindahkan gelombang dari rangkaian kontrol untuk menjalankan rangkaian pada konverter. Tegangan PWM yang dibangkitkan oleh mikrokontroler terlalu kecil untuk dapat mengatur penyalan kaki *gate* MOSFET. Oleh karena itu, dibutuhkan *driver* yang mampu menaikkan sinyal PWM yang dibangkitkan oleh mikrokontroler. Pada implementasi SIMBC ini digunakan rangkaian *driver* berupa IC TLP 250. IC TLP 250 merupakan IC *optocoupler* yang memiliki konstruksi rangkaian seperti pada **Gambar 4.6** berikut:



Gambar 4.6 TLP 250

Pada **Gambar 4.7** terlihat bahwa di sisi masukan *optocoupler* terdapat pada pin 2. Sebelum masuk pada pin 2 TLP 250, sinyal PWM yang dibangkitkan mikrokontroler dihubungkan ke tahanan untuk membatasi arus yang melalui LED yang terletak antara pin 2 dan pin 3 yang berfungsi sebagai common ground. Pada sisi keluaran, pin 8 dihubungkan pada tegangan referensi 18 Volt. Pin 5 dihubungkan pada kaki *source* MOSFET dan pin 6 atau 7 sebagai keluaran sinyal PWM menuju kaki *gate* MOSFET.



Gambar 4.7 Rangkaian ekivalen TLP 250 [4]

Pada saat sinyal PWM dari mikrokontroler kondisi *high*, dioda LED *optocoupler* teraliri arus dan LED memberikan sinyal penyinaran pada basis fototransistor sehingga transistor berfungsi sebagai saklar yang menutup. Ketika transistor menutup, terjadi aliran arus dari collector yang bertegangan 18 Volt menuju emitter yang kemudian dibuang ke sisi ground konverter atau kaki *source* MOSFET. Pada saat kondisi PWM *low*, LED tidak teraliri arus sehingga tidak ada sinar yang mengenai basis fototransistor. Oleh karena itu, pada keadaan ini

transistor berfungsi sebagai saklar yang terbuka sehingga keluaran TLP 250 menuju kaki *gate* MOSFET juga bernilai nol atau tidak ada tegangan yang mengaktifkan MOSFET. Pada sisi keluaran TLP, dapat juga dipasang zener 18 Volt yang berfungsi untuk memberikan kestabilan kerja saklar MOSFET.

4.1.7 Termoelektrik (TEC – 12706)

Salah satu sumber energi yang digunakan dalam Tugas Akhir ini merupakan sebuah Termoelektrik (TEC – 12706). Ketika salah satu sisi diberi sumber panas dan sisi lainnya diberi sebuah pendingin atau *heatsink*, maka akan timbul tegangan DC yang terbentuk karena perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dinginnya. Tegangan yang dihasilkan oleh sebuah Termoelektrik tergantung dari tingginya suhu di sisi panas termoelektrik dan perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin termoelektrik. Suhu maksimum yang diperbolehkan pada sisi panas Termoelektrik adalah sebesar 80° C.

Tabel 4.1 Spesifikasi TEC – 12706

Hot side temperature (C)	25	50
Qmax (W)	50	57
Delta Tmax (C)	66	75
Imax (A)	6.4	6.4
Vmax (V)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohm)	1.98	2.3



Gambar 4.8 TEC – 12706

4.1.8 Sel Surya (eISOL Solar Power)

Sel Surya merupakan salah satu sumber energi yang penulis gunakan dalam proses implementasi dan penulisan Tugas Akhir ini. Sel Surya yang digunakan adalah **eISOL Solar Power**. Spesifikasi yang dimiliki oleh **eISOL Solar Power** adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Spesifikasi Elektris Sel Surya

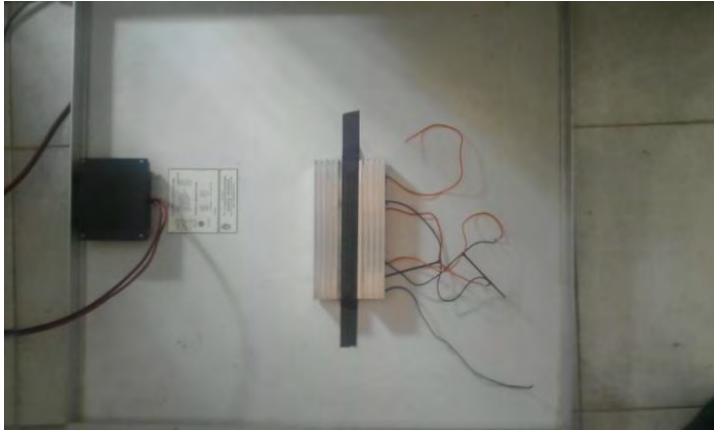
Model	aS50236 – PCW
Maximum Power	50 Wp
Short Circuit Current	3.25 A
Maximum Power Current	2.91 A
Open Circuit Voltage	21.75 V
Nominal Voltage	17.24 V
FF	0.710

Tabel 4.3 Spesifikasi Fisik Sel Surya

Length	690 mm
Width	660 mm
Depth	40 mm
Weight	5.5 kg
Temperature	-40° C sampai 50° C

4.2 Pengujian dan Analisis data Sel Surya dan Termoelektrik

Pengujian pada Sel Surya dan Termoelektrik dilakukan dengan meletakkan salah satu sisi Termoelektrik pada Sel Surya dan sisi lainnya pada sebuah *heatsink*. Di antara Sel Surya, Termoelektrik dan *heatsink* diberi *thermal paste*. *Thermal paste* ini berfungsi untuk meningkatkan penyaluran kalor yang ada pada Sel Surya, Termoelektrik dan *heatsink*, seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 4.9**.



Gambar 4.9 Sel Surya dan Termoelektrik

Pengujian dilakukan dalam dua kondisi cuaca, yaitu pada saat cuaca cerah (25 – 10 – 2014) dan cuaca berawan (22 – 11 – 2014)

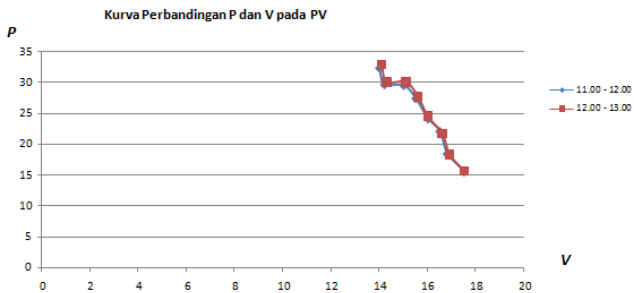
4.2.1 Pengujian Sel Surya dan Termoelektrik saat cuaca cerah

Pengujian ini dilakukan antara pukul 11.00 sampai dengan pukul 13.00, dimana pada saat itu matahari sedang memancarkan intensitas cahaya dan jumlah kalor yang cukup besar ke bumi.

Dari hasil pengujian yang terlihat pada **Tabel 4.4**, dapat dilihat bahwa nilai dari tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh Sel Surya pada pukul 12.00 – 13.00 lebih besar daripada saat pukul 11.00 – 12.00. Hal ini dikarenakan pada saat pukul 12.00 – 13.00 matahari sedang berada di posisi tertinggi nya dalam satu hari, sehingga intensitas cahaya yang dilepaskan pun lebih besar daripada saat pukul 11.00 – 12.00.

Tabel 4.4 Tegangan, arus dan daya Sel Surya saat cuaca cerah

Waktu Pengambilan	Kondisi Beban (R)	Tegangan PV(V)	Arus PV (A)	Daya PV (W)
11.00 - 12.00	20	17.5	0.89	15.575
	15	16.8	1.1	18.48
	12	16.5	1.34	22.11
	10	16	1.51	24.16
	8.6	15.5	1.77	27.435
	7.5	15	1.97	29.55
	6.7	14.2	2.09	29.678
	6	14	2.31	32.34
12.00 - 13.00	20	17.5	0.9	15.75
	15	16.9	1.09	18.421
	12	16.6	1.31	21.746
	10	16	1.54	24.64
	8.6	15.6	1.78	27.768
	7.5	15.1	2	30.2
	6.7	14.3	2.11	30.173
	6	14.1	2.34	32.994



Gambar 4.10 Grafik perbandingan PV saat cuaca cerah

Tabel 4.5 Tegangan, arus dan daya yang Termoelektrik saat cuaca cerah

Waktu Pengambilan	Kondisi Beban (R)	Tegangan PV(V)	Arus PV (A)	Daya PV (W)
11.00 - 12.00	20	2.15	0.11	0.2365
	15	1.95	0.122	0.2379
	12	1.75	0.135	0.2363
	10	1.65	0.167	0.2756
	8.6	1.55	0.192	0.2976
	7.5	1.465	0.206	0.3018
	6.7	1.475	0.21	0.3098
	6	1.3	0.215	0.2795
12.00 - 13.00	20	2.37	0.119	0.2820
	15	2.19	0.135	0.2956
	12	2.02	0.159	0.3212
	10	1.88	0.188	0.3534
	8.6	1.74	0.2	0.348
	7.5	1.66	0.21	0.3486
	6.7	1.62	0.231	0.3742
	6	1.54	0.24	0.3696

Tabel 4.6Suhu dari kedua sisi Termoelektrik saat cuaca cerah

Waktu Pengambilan	Suhu sisi dingin Termoelektrik (C)	Suhu sisi panas Termoelektrik (C)
11.00 – 12.00	50	55
12.00 – 13.00	52	58

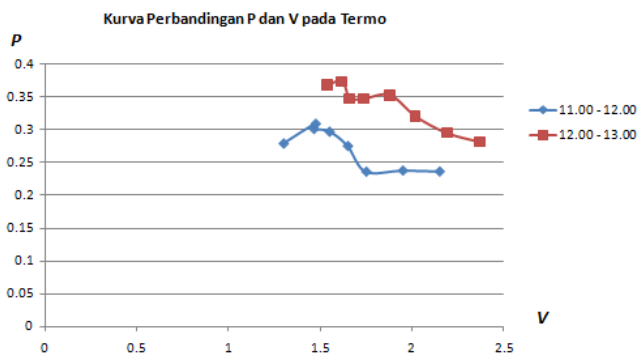
Dimana :

Suhu sisi dingin Termoelektrik = Suhu dari sisi Termoelektrik yang bersentuhan dengan *Heatsink*

Suhu sisi panas Termoelektrik = Suhu dari sisi Termoelektrik yang bersentuhan dengan Sel Surya

Dari hasil pengujian yang terlihat pada **Tabel 4.4** dan suhu yang diambil dari Termoelektrik pada **Tabel 4.5**, dapat terlihat bahwa nilai

tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh Termoelektrik pada pukul 12.00 – 13.00 lebih besar daripada saat pukul 11.00 – 12.00. Hal ini dikarenakan pada saat pukul 12.00 – 13.00 matahari sedang berada di posisi tertinggi nya dalam satu hari, sehingga jumlah kalor yang dilepaskan oleh matahari lebih besar daripada saat pukul 11.00 – 12.00.



Gambar 4.11 Grafik perbandingan Termoelektrik saat cuaca cerah

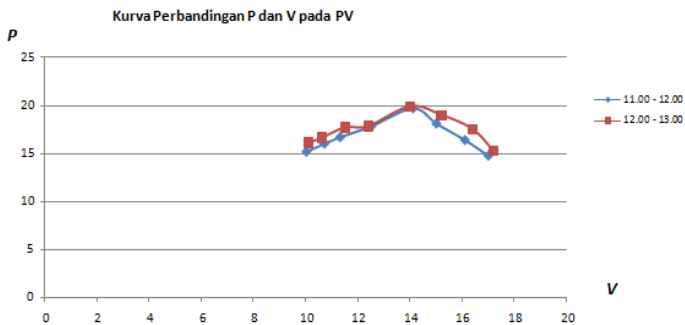
4.2.2 Pengujian Sel Surya dan Termoelektrik saat cuaca berawan

Pengujian ini dilakukan antara pukul 11.00 sampai dengan pukul 13.00, dimana pada pukul – pukul tersebut matahari sedang memancarkan intensitas cahaya dan jumlah kalor yang cukup besar ke bumi. Namun pada saat pengujian dilakukan, matahari sedang dalam kondisi tertutup oleh awan, sehingga intensitas sinar matahari dan kalor yang sampai ke bumi tidak lah sebesar pada saat cuaca cerah dan matahari sedang tidak tertutup oleh awan.

Dari hasil pengujian yang terlihat pada **Tabel 4.7**, dapat dilihat bahwa nilai dari tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh Sel Surya pada pukul 12.00 – 13.00 lebih besar daripada saat pukul 11.00 – 12.00. Hal ini dikarenakan pada saat pukul 12.00 – 13.00 matahari sedang berada di posisi tertinggi nya dalam satu hari, sehingga intensitas cahaya yang dilepaskan pun lebih besar daripada saat pukul 11.00 – 12.00.

Tabel 4.7 Tegangan, arus dan daya Sel Surya saat cuaca berawan

Waktu Pengambilan	Kondisi Beban (R)	Tegangan PV(V)	Arus PV (A)	Daya PV (W)
11.00 - 12.00	20	17	0.87	14.79
	15	16.1	1.02	16.422
	12	15	1.21	18.15
	10	14.1	1.4	19.74
	8.6	12.5	1.43	17.875
	7.5	11.3	1.48	16.724
	6.7	10.7	1.5	16.05
	6	10	1.52	15.2
12.00 - 13.00	20	17.2	0.89	15.308
	15	16.4	1.07	17.548
	12	15.2	1.25	19
	10	14	1.42	19.88
	8.6	12.4	1.44	17.856
	7.5	11.5	1.54	17.71
	6.7	10.6	1.57	16.642
	6	10.1	1.6	16.16



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan PV saat cuaca berawan

Tabel 4.8 Tegangan, arus dan daya Termoelektrik saat cuaca berawan

Waktu Pengambilan	Kondisi Beban (R)	Tegangan Termo (V)	Arus Termo (A)	Daya Termo (W)
11.00 - 12.00	20	1.383	0.065	0.089895
	15	1.2	0.0783	0.09396
	12	1	0.085	0.085
	10	0.95	0.097	0.09215
	8.6	0.867	0.0102	0.0088434
	7.5	0.8	0.105	0.084
	6.7	0.75	0.113	0.08475
	6	0.733	0.12	0.08796
12.00 - 13.00	20	1.41	0.066	0.09306
	15	1.22	0.071	0.08662
	12	1.07	0.083	0.08881
	10	1	0.098	0.098
	8.6	0.92	0.113	0.10396
	7.5	0.879	0.122	0.107238
	6.7	0.885	0.124	0.10974
	6	0.79	0.128	0.10112

Tabel 4.9 Suhu dari kedua sisi Termoelektrik saat cuaca berawan

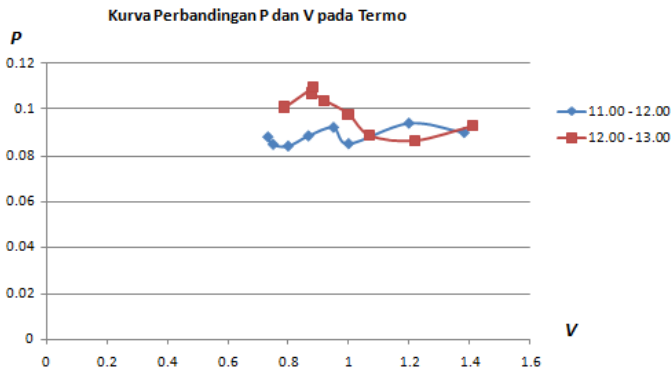
Waktu Pengambilan	Suhu sisi dingin Termoelektrik (C)	Suhu sisi panas Termoelektrik (C)
11.00 – 12.00	43	45
12.00 – 13.00	44	47

Dimana :

Suhu sisi dingin Termoelektrik = Suhu dari sisi Termoelektrik yang bersentuhan dengan *Heatsink*

Suhu sisi panas Termoelektrik = Suhu dari sisi Termoelektrik yang bersentuhan dengan Sel Surya

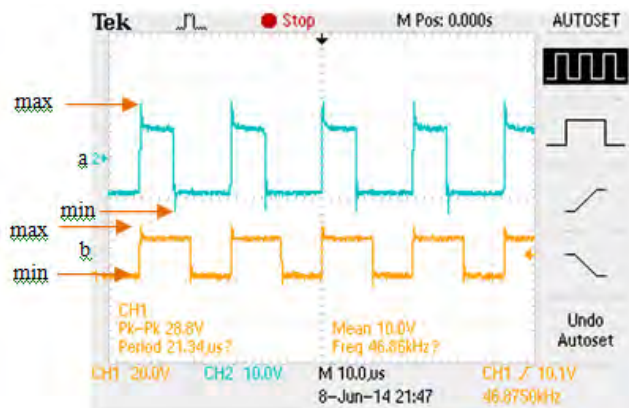
Dari hasil pengujian yang terlihat pada **Tabel 4.8** dan suhu yang diambil dari Termoelektrik pada **Tabel 4.9**, dapat terlihat bahwa nilai tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh Termoelektrik pada pukul 12.00 – 13.00 lebih besar daripada saat pukul 11.00 – 12.00. Hal ini dikarenakan pada saat pukul 12.00 – 13.00 matahari sedang berada di posisi tertinggi nya dalam satu hari, sehingga jumlah kalor yang dilepaskan oleh matahari lebih besar daripada saat pukul 11.00 – 12.00.



Gambar 4.13 Grafik perbandingan Termoelektrik saat cuaca berawan

4.3 Pengujian dan Analisis Data *Multiple Input Converter*

Pengujian pada alat *Multiple Input Converter* dilakukan dengan menggunakan Sel Surya dan Termoelektrik sebagai sumber energi. Duty cycle yang digunakan dalam pengujian *Multiple Input Converter* sebesar 0.4 dan 0.7 dan frekuensi yang digunakan sebesar 46.875 kHz. Seperti yang terlihat pada gambar

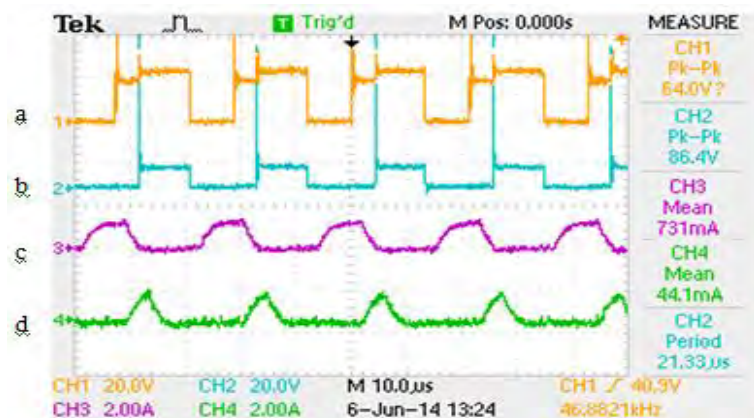


Gambar 4.14 Tegangan V_{GS} kedua MOSFET

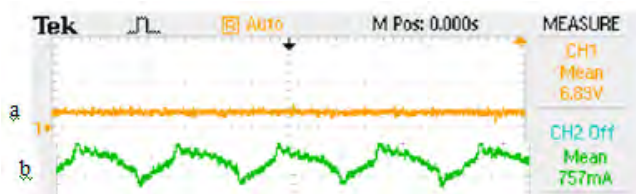
Gambar 4.14 merupakan gambar dari tegangan V_{GS1} dan V_{GS2} yang terjadi pada MOSFET 1 dan MOSFET 2 saat pensaklaran sedang berjalan. Pada **Gambar 4.14** dapat terlihat bahwa nilai tegangan Pk – Pk dari V_{GS1} adalah 28 Volt. Tegangan Pk – Pk merupakan nilai tegangan maksimum sampai dengan tegangan minimum dari sebuah sinyal tegangan. Pada subsub bab 4.16 dapat dilihat bahwa tegangan output yang dikeluarkan oleh TLP 250 yang digunakan untuk melakukan pensaklaran pada MOSFET sebesar 18 Volt Pk – Pk. Perbedaan tegangan Pk - Pk antara output TLP 250 dan V_{GS1} yang sebesar 10 Volt terjadi karena adanya tegangan transien pada V_{GS1} . Nilai tegangan Pk – Pk pada V_{GS2} sama dengan V_{GS1} , yaitu 28.8 Volt.

4.3.1 Pengujian *Multiple Input Converter* saat cuaca cerah

Pada saat pengujian *Multiple Input Converter* ini, dimasukkan nilai D_1 dan D_2 sebesar 0.4 dan 0.7. D_1 merupakan *duty cycle* dari sumber Sel Surya dan D_2 merupakan *duty cycle* dari sumber Termoelektrik. Kemudian bentuk sinyal dan nilai dari I_{DS} , V_{DS} , V_O dan I_L bisa dilihat pada **Gambar 4.15 dan 4.16**



Gambar 4.15 a. V_{DS1} ; b. V_{DS2} ; c. I_{DS1} ; d. I_{DS2}



Gambar 4.16 a. V_O ; b. I_L

Tabel 4.10 V_O , I_O , P , dan efisiensi saat pukul 11.00 – 12.00

R	V_O (V)	I_O (A)	P (W)	Efisiensi (%)
20	6.73	0.37	2.5	88.1
15	6.21	0.469	2.92	85
12	6.08	0.571	3.464	85.3
10	5.75	0.693	3.97	83.4
8.6	5.5	0.755	4.174	82.4
7.5	5.22	0.823	4.38	81.7
6.7	4.9	0.89	4.37	80.5
6	4.67	0.978	4.58	78.1

Tabel 4.11 V_o , I_o , P dan efisiensi saat pukul 12.00 – 13.00

R	V_o (V)	I_o (A)	P (W)	Efisiensi (%)
20	6.5	0.4	2.62	87.3
15	6.16	0.474	2.933	83
12	6.05	0.572	3.459	83.5
10	5.58	0.672	3.751	80.1
8.6	5.38	0.772	4.15	79.5
7.5	5.12	0.863	4.418	78.3
6.7	4.95	0.913	4.523	79.8
6	4.7	1.008	4.65	75.6

Persamaan efisiensi yang digunakan :

$$\mu = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_R \cdot I_O}{V_{i1} \cdot I_{i1} + V_{i2} \cdot I_{i2}}$$

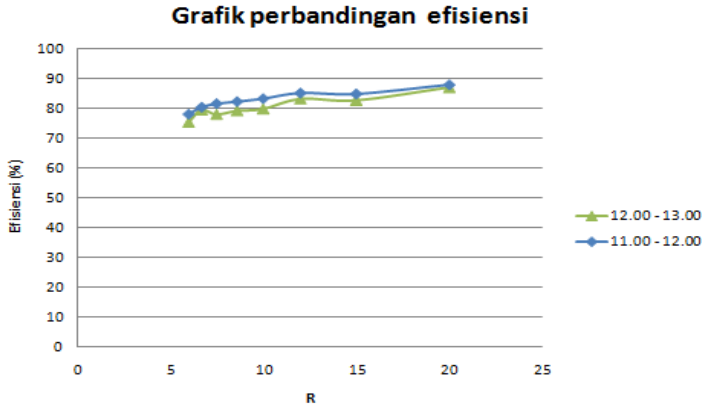
Dimana : V_{i1} = Nilai tegangan dari Sel Surya

V_{i2} = Nilai tegangan dari Termoelektrik

I_{i1} = Nilai arus dari Sel Surya

I_{i2} = Nilai arus dari Termoelektrik

Pada **Tabel 4.10** dan **Tabel 4.11** dapat dilihat nilai efisiensi dari *Multiple Input Converter* pada saat pengujian dilakukan pada saat pukul 11.00 – 12.00 dan pukul 12.00 – 13.00 saat cuaca sedang cerah. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa nilai efisiensi dari *Multiple Input Converter* pada saat pukul 11.00 – 12.00 sedikit lebih baik daripada saat pukul 12.00 – 13.00 walaupun nilai daya yang dihasilkan lebih besar.



Gambar 4.17 Grafik perbandingan efisiensi pada saat cuaca cerah

Dari **Gambar 4.17** dapat dilihat, bahwa nilai efisiensi dari alat *Multiple Input Converter* pada saat pukul 11.00 – 12.00 lebih besar dari pada saat pukul 12.00 – 13.00. Meskipun pada saat pukul 12.00 – 13.00 nilai tegangan dan daya yang dikeluarkan oleh sumber Sel Surya dan Termoelektrik lebih besar daripada saat pukul 11.00 – 12.00. Hal ini dikarenakan panas nya suhu sekitar, sehingga secara tidak langsung mempengaruhi kinerja dari *Multiple Input Converter*.

4.3.2 Pengujian *Multiple Input Converter* saat cuaca berawan

Tabel 4.12 V_o , I_o , P dan efisiensi saat pukul 11.00 – 12.00

R	V_o (V)	I_o (A)	P (W)	Efisiensi (%)
20	6.45	0.37	2.37	89.4
15	5.89	0.431	2.541	86.6
12	5.323	0.51	2.712	84.5
10	5.072	0.59	2.988	85.6
8.6	4.45	0.603	2.682	84.6
7.5	3.96	0.624	2.469	83.2
6.7	3.717	0.634	2.356	82.5
6	3.461	0.644	2.23	82

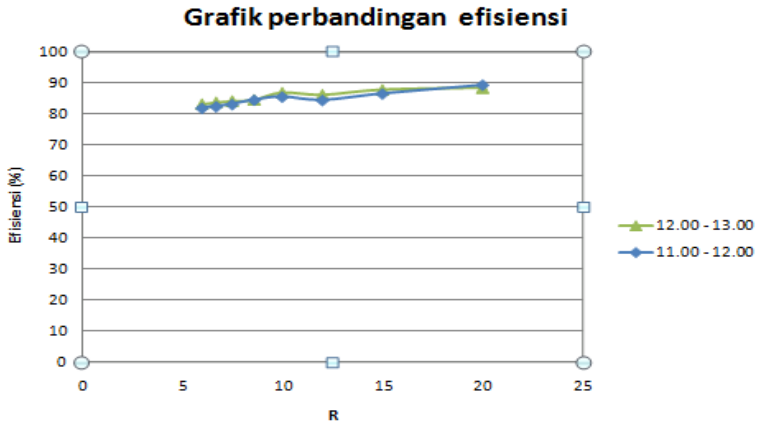
Pada **Tabel 4.12** dapat dilihat bahwa nilai efisiensi pukul 11.00 – 12.00 pada saat cuaca berawan lebih besar daripada saat cuaca cerah, walaupun nilai daya yang dihasilkan lebih kecil (**Tabel 4.10**). Hal ini dikarenakan pada saat cuaca cerah, kalor yang dilepaskan oleh matahari dan sampai ke bumi lebih besar daripada saat cuaca berawan. Sehingga suhu sekitar akan naik dan akan mempengaruhi kinerja dari *Multiple Input Converter*.

Tabel 4.13 V_o , I_o , P dan efisiensi saat pukul 12.00 – 13.00

R	V_o (V)	I_o (A)	P (W)	Efisiensi (%)
20	6.455852	0.3758	2.426109182	88.4
15	6.881348	0.4493	3.091789656	87.8
12	6.356702	0.5249	3.33663288	86.2
10	5.8607	0.5974	3.50118218	86.9
8.6	5.193496	0.6099	3.16751321	84.6
7.5	4.8220354	0.6526	3.146860302	84.2
6.7	4.462489	0.6652	2.968447683	83.8
6	4.237184	0.6784	2.874505626	83.2

Pada **Tabel 4.13** dapat dilihat hasil pengujian dari *Multiple Input Converter* pada saat pukul 12.00 – 13.00. Nilai efisiensi yang dihasilkan pada saat pukul 12.00 – 13.00 lebih besar daripada saat pukul 11.00 – 12.00 dan nilai daya yang dihasilkan pun lebih besar.

Dari **Gambar 4.18** dapat dilihat, bahwa nilai efisiensi dari alat *Multiple Input Converter* pada saat pukul 12.00 – 13.00 cenderung sama pada saat pukul 11.00 – 12.00. Hal ini dikarenakan pada saat cuaca berawan, kalor yang dilepaskan oleh matahari ke bumi tidak sampai secara maksimal sehingga mempengaruhi suhu yang ada di bumi.



Gambar 4.18 Grafik perbandingan efisiensi pada saat cuaca berawan

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil Pengujian *Multiple Input Converter*, Sel surya dan Termoelektrik, daya yang dihasilkan pada saat cuaca cerah lebih besar daripada saat cuaca berawan. Dapat dilihat dengan beban $R = 6 \text{ ohm}$, Daya yang dihasilkan pada saat cuaca cerah adalah 4.65 W dan pada saat cuaca berawan adalah 2.87 W
2. Nilai efisiensi yang didapatkan dari *Multiple Input Converter* pada saat cuaca berawan lebih tinggi daripada saat cuaca cerah. Dikarenakan suhu lingkungan yang mempengaruhi kinerja dari *Multiple Input Converter* sehingga mempengaruhi nilai efisiensi. Dengan beban $R = 6 \text{ ohm}$, efisiensi pada saat cuaca cerah adalah 78% dan efisiensi pada saat cuaca berawan adalah 82%

5.2. Saran

Dalam melakukan implementasi dan realisasi alat, lebih baik apabila jumlah sumber energi termoelektrik yang digunakan lebih besar, sehingga daya yang dihasilkan oleh Termoelektrik tersebut dapat lebih besar.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

1. Nandy Putra, Raldi Artono Koestoer, M. Adhitya, Ardian Roekettino, dan Bayu Trianto, "Potensi Pembangkit Daya Termoelektrik untuk Kendaraan Hibrid," *MAKARA, TEKNOLOGI, VOL. 13, NO. 2, NOVEMBER 2009: 53-58*
2. L.I.Anatychuk, "The Law of Thermoelectric Induction and its Application for Extending the Capabilities of Thermoelectricity," 22 International Conference on Thermoelectrics (2003)
3. Takashi Suzuki, Kouta Yoshikawa, and Satoru Momose, "Integration of organic photovoltaic and thermoelectric hybrid module for energy harvesting applications," Fujitsu Laboratories Ltd., 10-1 Morinosato-Wakamiya, Atsugi, Kanagawa 243-0197, Japan
4. Alireza Khaligh, *Member, IEEE*, Jian Cao, *Student Member, IEEE*, and Young-Joo Lee, *Student Member, IEEE*, "A Multiple-Input DC-DC Converter Topology," *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, VOL. 24, NO. 3, MARCH 2009
5. Lalit Kumar, Shailendra Jain, "Multiple-input DC/DC converter topology for hybrid energy system," *IET Power Electron.*, 2013, Vol. 6, Iss. 8, pp. 1483–1501doi: 10.1049/iet-pel.2012.0309
6. Ashari Mochamad, "Sistem Konverter DC, Desain Rangkaian Elektronika Daya" ITS Press, Surabaya, 2012
7. Simon Lineykin and Sam Ben-Yaakov, *Member, IEEE*, "Analysis of Thermoelectric Coolers by a Spice-Compatible Equivalent-Circuit Model" *IEEE POWER ELECTRONICS LETTERS*, VOL. 3, NO. 2, JUNE 2005

Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Nama saya adalah Ivan Kristofer. Saya kelahiran Jakarta 27 November 1992. Saya memulai pendidikan saya dengan bersekolah di SDK Santa Maria Kediri, kemudian saya melanjutkan pendidikan saya ke jenjang SMP dengan masuk SMP Petra Kediri. Kemudian setelah lulus SMP saya melanjutkan pendidikan di SMA 2 Kediri. Di Teknik Elektro ITS penulis mengambil bidang studi TST (Teknik Sistem Tenaga).

Halaman ini sengaja dikosongkan